

MAPPING

VOL. 22 • Nº 159 • MAYO - JUNIO 2013 • ISSN: 1.131-9.100

**APLICACIÓN SIG EN RIESGOS
NATURALES: calibración
del modelo de cálculo del riesgo
sísmico de Puerto Príncipe (Haití)**

**SISTEMA AEROTRANSPORTADO
LIGERO DE ADQUISICIÓN
de imágenes SAAPL**

**LA HIDROGRAFÍA
en la conservación
del patrimonio subacuático**

**PROJECT CASEY JONES,
1945-46: vuelo histórico
«fotogramétrico»**

**LA ACTUALIZACIÓN
DEL CATASTRO de México
Distrito Federal**

**DETECCIÓN AUTOMÁTICA
DE ZONAS DE SOMBRA
en imágenes aéreas
de ámbito urbano**





MAPPING

VOL.22 Nº159 MAYO-JUNIO 2013 ISSN: 1.131-9.100

Sumario



Pág. 04

La actualización del Catastro de México Distrito Federal
Ignacio Durán Boo



Pág. 14

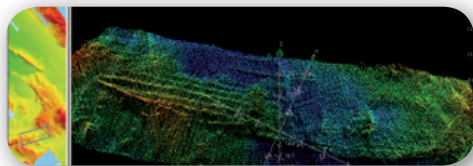
Project Casey Jones, 1945-46: el vuelo histórico «fotogramétrico» de la serie A en España y sus aplicaciones cartográficas
Juan Antonio Pérez Alvarez, Francisco Manuel Bascón Arroyo, Francisco Javier Crespo Pérez, María Cristina Charro Lobato



Pág. 26

Sistema aerotransportado ligero de adquisición de imágenes digitales SAAPI

Roberto da Silva Ruy, Thiago Tiedtke dos Reis, Antonio María García Tommaselli, Mauricio Galo, Julio Kyioshi Hasegawa, Ricardo Antequera



Pág. 36

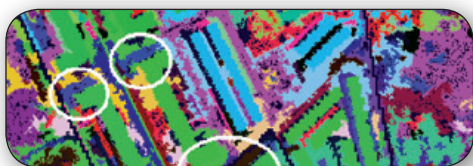
La hidrografía en la conservación del patrimonio subacuático
José Daniel González-Aller Lacalle, José Luis Sanchez de Lamadrid



Pág. 44

Aplicación SIG en riesgos naturales: calibración del modelo de cálculo del riesgo sísmico de Puerto Príncipe (Haití)

Yolanda Torres, Sergio Molina, Belén Benito



Pág. 56

Detección automática de zonas de sombra y posible asignación de información en imágenes aéreas de ámbito urbano

Alejandro Martínez de Agirre, José Antonio Malpica



Pág. 66

Noticias



Pág. 70

Eventos



MAPPING
**Revista Internacional
de Ciencias de la Tierra**

*El conocimiento de hoy
es la base del mañana*

La calidad de la geotecnología hecha revista

MAPPING

VOL.22 Nº159 MAYO-JUNIO 2013 ISSN: 1.131-9.100

DISTRIBUCIÓN, SUSCRIPCIÓN Y VENTA

eGeoMapping S.L.
C/ Linneo 37. 1ªB. Escalera Central
28005. Madrid. España
Teléfono: 910067223
info@mappinginteractivo.es
www.mappinginteractivo.es

MAQUETACIÓN

Altermedia Comunicación 2000 S.L.

IMPRESIÓN

Xiana y Cuélebre S.L.

Los artículos publicados expresan sólo la opinión de los autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación.

Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen al archivo del autor o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos. Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen. Esta revista ha sido impresa en papel ecológico.



FOTO DE PORTADA:

Parque Natural de Peñalara y rosa de los vientos del Mirador Los Robledos. El Mirador de los Robledos ofrece unas bellas vistas al Valle del Lozoya, Peñalara, y algunas cumbres de La Cuerda Larga. En el mirador se puede encontrar el monolito homenaje a la Guardería Forestal, así como una bonita rosa de los vientos que ayuda a identificar alguna de las siluetas y parajes más destacables de la sierra de Guadarrama de Madrid. Autor: Miguel Ángel Ruiz Tejada

Depósito Legal: B-4.987-92
ISSN: 1.131-9.100

PRESIDENTE

Benjamín Piña Patón

DIRECTOR

Miguel Ángel Ruiz Tejada
maruiz@geomapping.com

REDACTORA JEFA

Marta Criado Valdés
mcriado@geomapping.com

CONSEJO DE REDACCIÓN

Julián Aguirre de Mata
Profesor Titular de Escuela Universitaria.
E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

Manuel Alcázar Molina
Profesor de Universidad. Universidad de Jaén

Marina A. Álvarez Alonso
Profesor Titular de Universidad. E.T.S.I.
Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

Carlos Javier Broncano Mateos
Jefe del Área de Fotogrametría y Teledetección
del Departamento de Geodesia y Topografía
(Escuela de Guerra del Ejército)

Joan Capdevila Subirana
Director del Servicio Regional del Instituto
Geográfico Nacional de España en Cataluña

Mercedes Farjas Abadía
Catedrático de Escuela Universitaria.
E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

M^a Teresa Fernández Pareja
Profesor Titular de Escuela Universitaria.
E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

Florentino García González
Abogado

Francisco Javier González Matesanz
Subdirector General Adjunto de Geodesia y
Cartografía. Instituto Geográfico Nacional de
España

Luis Joyanes Aguilar
Catedrático de Lenguajes y Sistemas Informáticos.
Universidad Pontificia de Salamanca

Julio Mezcuza Rodríguez
Jefe del Área de Proyectos Internacionales.
Instituto Geográfico Nacional de España

Ricardo Rodríguez Cielo
Profesor E.T.S.I. Telecomunicación. Universidad
Politécnica de Madrid

Antonio Federico Rodríguez Pascual
Jefe de Área de Infraestructura de Información
Geográfica. Instituto Geográfico Nacional de
España

Roberto Rodríguez-Solano Suárez
Catedrático de Escuela Universitaria. E.U.I.T.
Forestal. Universidad Politécnica de Madrid

Andrés Seco Meneses
Profesor Titular de Universidad. E.T.S.I.
Agrónomos. Universidad Pública de Navarra

Antonio Vázquez Hoehne
Profesor Titular de Escuela Universitaria.
E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

CONSEJO ASESOR

Maximiliano Arenas García
Director Zona División Asuntos Ferroviarios.
Acciona Infraestructuras

Miguel Bello Mora
Director General de Elecnor Deimos

Santiago Borrero Mutis. Secretario General del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
(IPGH).

Andrés Díez Galilea
Vicepresidente del Instituto Nacional de
Ingeniería Técnica Española (INITE)

Ignacio Durán Boo
Director del Centro Experto de SIG y Catastro.
Informática El Corte Inglés

Ourania Mavrantza
Dra. Ingeniera en Teledetección. Gerencia
del Sistema de Gestión de Calidad. Catastro
Nacional de Grecia (KTIMATOLOGIO S.A.)

Javier Peñafiel de Pedro
Director Regional España y Portugal TOPCON
POSITIONING SPAIN

Benjamín Piña Patón
Director del Área de Fomento en Cantabria.
Representante del Estado en el Consejo de
Ordenación del Territorio y Urbanismo

Jesús Velasco Gómez
Director de Escuela Universitaria. E.T.S.I.
Topografía, Geodesia y Cartografía.
Universidad Politécnica de Madrid

La actualización del Catastro de México Distrito Federal

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 4-12
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

Ignacio Durán Boo¹

Resumen

Las grandes ciudades latinoamericanas están viviendo una profunda transformación creando nuevas infraestructuras y servicios públicos, lo que exige buscar recursos con los que financiarse. El Distrito Federal de México también siguió esta tendencia, lo que orientó a sus responsables a prestar atención a la mejora del impuesto predial, (impuesto sobre bienes inmuebles), lo que requería actualizar su catastro.

El proyecto de actualización catastral incluyó la realización de una nueva cartografía digital de alrededor de 1 500 km², apoyándose en cerca de 8 000 nuevas ortofotografías, y de la visita en campo de más de 2 millones de propiedades.

El resultado de este proyecto es uno de los más significativos casos de éxito en la gestión catastral y tributaria desarrollados en Latinoamérica en los últimos años. El Distrito Federal de México ha logrado cumplir sus objetivos, mejorando significativamente la recaudación del impuesto predial gracias a los trabajos de mejora de su catastro.

Abstract

Big Latin American cities are undergoing a deep transformation creating new infrastructure and public services, which require finding financial funds. Mexico's Federal District has also followed this trend, which oriented its mayors, to pay attention to the improvement of property tax, which required updating their cadastre.

The cadastral renovation project, included the completion of a new digital mapping of about 1,500 km², based on about 8,000 new orthophotos, and direct visits to over 2 million properties.

The result of this project is one of the most significant success case, in cadastral and property taxation developed in Latin America in recent years. Mexico's Federal District has accomplished its goals, significantly improving property revenue through cadastre improvement.

Palabras clave: Catastro, México DF, impuesto predial, ortofotografía, SIG.

Keywords: Cadastre, Mexico FD, property tax, orthophoto, GIS.

(1) Director del Centro Experto de SIG y Catastro.
Informática el Corte Inglés.
ignacio_duran@ieci.es

Recepción: 17-06-2013
Aprobación: 24-06-2013

1. INTRODUCCIÓN Y ALGUNOS DATOS

Las grandes ciudades latinoamericanas están viviendo una profunda transformación en su tejido urbano. Tras décadas de fuerte inmigración que dieron lugar a auténticas explosiones demográficas y a la proliferación de asentamientos urbanos no siempre controlados, viven ahora una etapa de expansión de los servicios públicos, buscando satisfacer las necesidades de los ciudadanos. Son muchas las ciudades de la región donde se están desarrollando grandes proyectos de construcción de infraestructuras, el caso del metro es un ejemplo, pero también son abundantes las iniciativas destinadas a reforzar o ampliar servicios esenciales como la salud, la educación o la seguridad. Quizá a algún lector le sorprenda saber que América Latina y el Caribe está considerada como la región más urbanizada del mundo, como se indica en las primeras líneas del trabajo recientemente publicado por ONU-HABITAT la agencia de las Naciones Unidas para los espacios urbanos, y cuya lectura se recomienda a los que estén interesados en estas cuestiones. [ONU12]

Esta demanda de nuevos y mejores servicios plantea a su vez la necesidad de obtener los recursos necesarios para atender la fuerte inversión que requiere, tanto su construcción como su posterior mantenimiento, y es precisamente en este escenario donde todas las miradas se vuelven hacia los ingresos tributarios y especialmente hacia el impuesto predial –equivalente al Impuesto sobre Bienes Inmuebles español– como ámbito principal donde obtener mayores ingresos.

Como consecuencia de lo anterior se descubre que los catastros, la herramienta principal que soporta los sistemas de tributación inmobiliaria en los países latinoamericanos, están seriamente desfasados, tanto en lo que se refiere a la actualización de la propia información descriptiva de los inmuebles, como en lo referente a los valores utilizados para fijar las bases tributarias, así como en las herramientas y tecnologías aplicadas a su gestión y mantenimiento. El resultado, positivo en su intención, es que se generalizan en toda la región importantes procesos de actualización catastral, desarrollados desde distintas metodologías e impulsos políticos, pero todos ellos con un objetivo común: mejorar la recaudación del impuesto predial a partir de la puesta al día de la información descriptiva de los inmuebles, y también mediante nuevas definiciones de los valores catastrales.

Sin duda, las dos experiencias recientes más significativas desarrolladas en Latinoamérica en lo que afecta a grandes municipios son las actualizaciones de los catastros de Bogotá y de la ciudad de México. Respecto a las

mejorar la recaudación del impuesto predial a partir de la puesta al día de la información descriptiva de los inmuebles, y también mediante nuevas definiciones de los valores catastrales

características del proceso desarrollado en la capital colombiana me remito al interesante trabajo publicado por Gustavo Adolfo Marulanda Morales, actual Director del Catastro de Bogotá, publicado en el número 72 de la revista CT-Catastro [MAR11]. En este artículo nos centraremos en la actualización del catastro de México Distrito Federal.

Con un PIB de 470 000 millones de dólares, el Distrito Federal se sitúa como la octava ciudad más rica del mundo. Su peso en la economía del país es más que relevante, como lo demuestra el hecho de que en el año 2008 aportase el 34% del PIB nacional total. Además de por su altitud, 2 240 metros sobre el nivel del mar, se distingue también por su superficie, al ocupar una extensión de 1 484 km².

Pero sin duda el dato más relevante es el de su población, de alrededor de 8.8 millones de habitantes. En conjunto con su área conurbada (Zona Metropolitana del Valle de México), agrupa más de 21 millones de habitantes, lo que supone la quinta aglomeración urbana más grande del mundo y la más grande del continente americano, siendo la densidad de población de 5 862 habitantes por kilómetro cuadrado.

Es en este escenario enorme y complejo donde las autoridades responsables del catastro del Distrito Federal deciden acometer la puesta en marcha del Programa de

Es en este escenario enorme y complejo donde las autoridades responsables del catastro del Distrito Federal deciden acometer la puesta en marcha del Programa de Modernización Catastral de la ciudad de México, proyecto que a partir de entonces pasa a ser identificado con su acrónimo PROMOCA

Modernización Catastral de la ciudad de México, proyecto que a partir de entonces pasa a ser identificado con su acrónimo PROMOCA.

Con esta iniciativa se daba respuesta a una situación negativa que se venía produciendo en relación con el impuesto predial. Por una serie de razones complejas de explicar de forma abreviada en estas líneas, la base imponible del impuesto, definida sobre el valor catastral, se fijaba mediante un procedimiento que no sólo generaba una baja recaudación, sino que incluso provocaba la pérdida neta de ingresos anualmente. Así, mientras que en 2001 se ingresaron poco menos de 454 millones de euros por este tributo, en 2007 la cifra finalmente recaudada fue de algo más de 370 millones de euros. Son varias las causas de esta situación, siendo una de ellas la alta litigiosidad existente y, lo que es más significativo, el hecho de que el 100% de las reclamaciones presentadas en vía judicial fueran ganadas por los ciudadanos, lo que suponía en la práctica un reconocimiento de la falta de apoyo jurídico del método de valoración utilizado.

En definitiva, la situación de partida no podía ser más adversa: una megalópolis como el Distrito Federal, con una base de datos muy desactualizada y una pérdida constante de recaudación del impuesto predial que debilitaba de forma significativa los planes de ingresos públicos y condicionaba negativamente la capacidad inversora de la ciudad.

En este entorno se produce la licitación internacional de los trabajos para poner en marcha la ejecución de PROMOCA, licitación que es ganada por Informática el Corte Inglés (IECISA), empresa que para la ejecución de las actividades contratadas contará con el apoyo de la firma Trabajos Catastrales S.A. (TRACASA).

2. OBJETIVOS DE PROMOCA

PROMOCA es diseñado con el fin de atender objetivos estratégicos más amplios que la mera actualización de la información catastral. Con una visión muy utilitaria de la herramienta, las autoridades de la ciudad asumen el concepto de catastro multifinilar y buscan la consecución de una base de datos que ha de atender la demanda de una mayor accesibilidad y transparencia en la gestión de la información en materia de propiedad inmobiliaria. Se vincula así al proyecto desde el principio con valores de gran calado institucional y social, como la transparencia en la gestión pública, o la seguridad jurídica en el tráfico inmobiliario.

Desde esta visión, los responsables de PROMOCA definen tres líneas de acción diferenciadas:

En primer lugar, buscan proveer a la ciudadanía de un padrón catastral actualizado, que cumpla con las condiciones de confiabilidad, certeza y eficiencia requeridas

Se vincula al proyecto desde el principio con valores de gran calado institucional y social, como la transparencia en la gestión pública, o la seguridad jurídica en el tráfico inmobiliario

para el ejercicio de sus obligaciones fiscales. Con ello se pretendía poner fin a la falta de seguridad jurídica existente en el momento de inicio de los trabajos, a la que se ha hecho referencia en el párrafo anterior. Si es obligación de los ciudadanos contribuir al sostenimiento de los servicios públicos mediante el pago de los tributos, también es el deber de los responsables de las instituciones tributarias municipales proveer de los medios necesarios para que esta obligación se cumpla de la forma más simple, segura y eficiente posible.

En segundo lugar, se trataba de convertir al catastro de la ciudad en proveedor de servicios y de insumos de alta calidad para los contribuyentes, para todas las dependencias gubernamentales que necesitasen información geográfica de precisión, para las instituciones académicas, y para las entidades privadas que podían ver mejorada su actividad utilizando en sus procedimientos la nueva información catastral generada. Se anticipan con ello los responsables del catastro de la capital mexicana a las políticas de *open data*, tan de moda en la actualidad.

Y en tercer, pero no en último lugar, se buscaba como efecto detener y revertir, en muy corto plazo, la tendencia descendente en la recaudación del impuesto predial, con el fin de convertir en medio plazo a este tributo en la fuente más importante y estable de ingresos para la ciudad. Se trataba no sólo de romper la tendencia de pérdida de recaudación, sino también generar una evolución radicalmente opuesta, recuperando con la reforma todo el potencial recaudatorio del impuesto predial.

3. ACTIVIDADES QUE DEBÍA DESARROLLAR EL PROGRAMA

Si tuviéramos que definir de alguna manera PROMOCA podríamos decir que se trata de un proyecto catastral «completo». Frente a otros trabajos catastrales desarrollados en distintos países, que se centran en un área concreta de actividad (por ejemplo, la actualización de la car-

tografía o la reforma del modelo de gestión), una de las cuestiones que hace más atractivo este proyecto es que aborda la actividad catastral de una manera completa. De esta forma, PROMOCA incluirá acciones específicas que afectan a los cinco pilares básicos de un proyecto de catastro, es decir:

- la actualización de la información, incluyendo acciones diferenciadas en lo que respecta a datos alfanuméricos y a la cartografía
- la creación del sistema integral de gestión y actualización del predial (que fue denominado SIGAPRED)
- la definición de los procesos para garantizar el mantenimiento continuo de la información
- la creación de la Oficina de Vinculación por internet del Catastro (definida con el acrónimo OVICA)
- y finalmente, la aplicación de esta nueva información para la mejora del impuesto predial

4. ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN GRÁFICA

Se partía de una situación de fuerte desactualización de toda la información tanto gráfica como alfanumérica. La cartografía existente, cuya última actualización fue en el año 2002, no recogía buena parte de las transformaciones de la ciudad de los últimos años y era muy elevado el número de inmuebles que no figuraban en la base de datos catastral. Por todo ello se decidió desarrollar un proceso completo de actualización.

En el proceso de elaboración de la cartografía se partió de la realización de un vuelo digital, a partir del cual se obtuvieron más de 8 000 fotografías aéreas de alta resolución, que cubrían los 1 484 km² que abarca la ciudad. A partir de esta información se elaboran las ortofotos de todo el territorio que era objeto de la actualización, y posteriormente se realiza la restitución fotogramétrica como paso previo a la elaboración de la nueva cartografía.

Como no podía ser de otra forma, se apuesta por un modelo de catastro 3D, entendiendo esta expresión tanto desde el punto de vista físico, puesto que integra plenamente el suelo (parcela) y las edificaciones, como jurídico, puesto que se incorpora toda la estructura de dominio de la propiedad horizontal, cuando nos encontramos con la tipología edificatoria conocida en la ciudad como condominios. Esta opción se demostró especialmente acertada, dada la evolución que está sufriendo la ciudad con la aparición de numerosos edificios de gran altura destinados a vivienda u oficinas, en muchos casos construidos sobre la estructura parcelaria de vivienda unifamiliar tradicional.

Se trataba de proveer a la ciudadanía de un padrón catastral actualizado, que cumpla con las condiciones de confiabilidad, certeza y eficiencia requeridas para el ejercicio de sus obligaciones fiscales, de convertir al catastro en proveedor de servicios y de insumos de alta calidad para los contribuyentes y para todas las dependencias gubernamentales que necesiten información geográfica de precisión y de detener y revertir, en muy corto plazo, la tendencia descendente en la recaudación del impuesto predial

5. TRABAJO DE CAMPO EN LA TOTALIDAD DE LA CIUDAD

La preocupación por garantizar una información de calidad, que respondiera a los datos reales de las edificaciones y a la correcta identificación de sus propietarios, fue una constante en toda la operación. Por ello, se decidió dedicar un esfuerzo especial a la captura de nuevos datos a partir de trabajos de campo específicos, así como a la realización de recorridos de contraste destinados a validar la información ya disponible, comparándola con una nueva toma de datos, a fin de garantizar la calidad de la información.

La enorme extensión de la ciudad también fue un condicionante claro de los trabajos realizados en campo, que llegaron a exigir en los momentos de mayor actividad la participación de más de 500 personas organizadas en diversas brigadas. Además, junto con la extensión, otro factor determinante que exigió tomar decisiones específicas adaptadas a cada situación fue la gran diversidad de entornos sociales que se presentan en una ciudad de estas características. Específicamente se tuvieron en cuenta las dificultades adicionales que podrían plantearse en determinadas áreas de la ciudad en las que el nivel de seguridad o la dificultad de acceso pudiera ser un condicionante.

El resultado final de esta etapa del proyecto fue que se realizaron más de 2 millones de visitas a inmuebles situados en las 16 Delegaciones del Distrito Federal, obte-

niéndose una auténtica «auditoría urbana» de la ciudad y un conocimiento de su morfología como nunca antes se había alcanzado.

Asimismo, y esto resultó sumamente positivo en relación con el objetivo de incrementar la seguridad jurídica de las acciones de naturaleza tributaria que se apoyen en esta información, se capturaron las fotografías de fachada de todos los inmuebles catastrados, integrando toda esta información en la base de datos gráfica del catastro. Mediante estas fotos, además, se simplifica enormemente la gestión posterior de todos los expedientes asociados al mantenimiento catastral, y especialmente los relativos a recursos y reclamaciones presentadas por los contribuyentes.

6. OFICINA DE VINCULACIÓN POR INTERNET DEL CATASTRO (OVICA)

El modelo de catastro que se deseaba poner en marcha con esta operación no sólo debía apoyarse en una información debidamente actualizada de los datos de los inmuebles y de sus propietarios, sino que además debía integrar las herramientas necesarias para que esa información estuviese disponible para todas las entidades públicas que la necesitasen, así como para los ciudadanos y las empresas. Se trataba de disponer de una herramienta con la que hacer frente a los nuevos retos que la sociedad plantea a partir de la plena implantación de modelos eficaces de administración electrónica.

Es de destacar que en el origen de este proyecto tuvo una gran influencia sobre las autoridades del catastro de la ciudad de México, su conocimiento y estudio del modelo de oficina electrónica puesta en marcha y existente en España, a través de la Sede Electrónica del Catastro. Las capacidades y funcionalidades de la Sede Electrónica del Catastro de España fueron, en este sentido, un modelo a seguir cuando se definieron las especificaciones de la OVICA para la ciudad de México. Este ejemplo permite una reflexión sobre en qué medida la transferencia de tecnología desarrollada en España, y aplicada a experiencias reales que han resultado exitosas, puede ser una de las mejores formas de impulsar la actividad de las empresas españolas en el exterior. En concreto, el sector de la información geográfica en España se encuentra especialmente desarrollado y situado en un alto nivel en cuanto a sus capacidades y metodologías, tanto por parte del sector público como del sector privado, y esta valiosa experiencia puede y debe ser transferida a través de actividades comerciales o de cooperación a terceros países que quieren beneficiarse de las buenas experiencias alcanzadas y de los interesantes resultados obtenidos.

La enorme extensión de la ciudad también fue un condicionante claro de los trabajos realizados en campo, que llegaron a exigir en los momentos de mayor actividad la participación de más de 500 personas organizadas en diversas brigadas

La OVICA se ha diseñado como una oficina multifuncional capaz de servir tanto de mera herramienta para la difusión de información, como de la plataforma sobre la que se implementarán los distintos servicios web que se vayan poniendo en aplicación.

Desde su función como «catastro en internet», se diseña para prestar servicios al más amplio conjunto de usuarios, incluyendo a los ciudadanos en general y especialmente a aquellos que por su condición de contribuyentes están obligados al pago del impuesto predial. No olvidemos que mejorar las condiciones que se establecen para facilitar al máximo el pago del tributo era uno de los condicionantes del modelo. Asimismo, a través de la OVICA se tiene que facilitar el acceso a la información catastral de todas aquellas dependencias del propio gobierno del Distrito Federal que están interesados en esta información, tales como las áreas de planificación, medio ambiente, tráfico, seguridad, etc., atendiendo con ello el carácter multifuncional de la información catastral.

Finalmente, la OVICA será también el canal por el que accederá toda la información procedente de los notarios,

La OVICA se ha diseñado como una oficina multifuncional capaz de servir tanto de mera herramienta para la difusión de información, como de la plataforma sobre la que se implementarán los distintos servicios web que se vayan poniendo en aplicación

Para evitar la repetición de estos errores PROMOCA dedica una especial atención a definir procedimientos que garanticen el mantenimiento continuo de la información y eviten tener que repetir un procedimiento similar dentro de unos años

de los peritos que realizan funciones de valoración y de otros profesionales que con su actividad contribuirán a la creación de un modelo de mantenimiento continuo de la información catastral.

Por lo que respecta a la información a la que se tendrá acceso a través de este servicio, ha sido diseñado para permitir el acceso gratuito a los datos de todos los predios de la ciudad, incluyendo su cartografía catastral y los planos manzaneros, así como la ortofoto digital. Asimismo, se permite la navegación libre por la cartografía, incluyendo el acceso a información urbana relevante, tal como los sitios de interés, infraestructura de transporte, determinados servicios (bancos, hospitales, escuelas, etc.), nivel de calidad ambiental por zonas, índice de seguridad, etc.

En cuanto a los criterios de acceso, no existen límites en lo relativo a la información relacionada con el pago del impuesto predial, si bien para acceder al resto de información es necesario formalizar el registro previo del usuario.

7. MANTENIMIENTO CONTINUO Y SIGAPRED

Uno de los defectos históricos de los catastros de muchos países latinoamericanos ha sido la ausencia de modelos eficaces de gestión que garanticen el mantenimiento continuo de la información de los inmuebles. Habitualmente los modelos seguidos apostaban por fuertes inversiones y ambiciosos proyectos destinados a poner al día la información catastral, pero descuidaban los procesos mediante los cuales esa información debía ser permanentemente actualizada. El resultado es que unos años después de realizada la última actualización la información se convertía en obsoleta, las cartografías perdían la capacidad para representar eficazmente el territorio, y las valoraciones catastrales apenas eran capaces de describir adecuadamente el valor comercial de los inmuebles, con el consiguiente deterioro del modelo de tributación inmobiliaria que debían sustentar. Para evitar la repetición de estos errores PROMOCA dedica una especial atención a definir procedimientos que garanticen el mantenimiento continuo de la información y eviten tener que repetir un procedimiento similar dentro de unos años. Esta actuación se basa en la implantación de un Sistema de Información Geográfica especialmente diseñado para la operación, denominado SIGAPRED, a través del cual se establecen los distintos procedimientos que permiten mantener la información, incluyendo expedientes de cambio de dominio, alta y baja de nuevas edificaciones, mantenimiento de cartografía, y modelo de valoración para determinar la base imponible del impuesto predial.

Como puede apreciarse en la imagen e la izquierda, los usuarios del sistema tiene a su disposición para la gestión de expedientes toda la información gráfica (ortofotos y cartografía) y alfanumérica existente en las bases de datos catastrales.

Asimismo se buscó un sistema que integre a los distintos agentes que intervienen en los procesos administrativos que gestionan información relativa a los inmuebles y que, por tanto, manejan datos necesarios para la actualización del catastro. De esta forma, con los enlaces que tiene el SIGAPRED y la OVICA a las fuentes externas se obtiene directamente de los agentes responsables información de distintos temas, como por ejemplo:

- Datos procedentes de licencias de construcción y demolición.

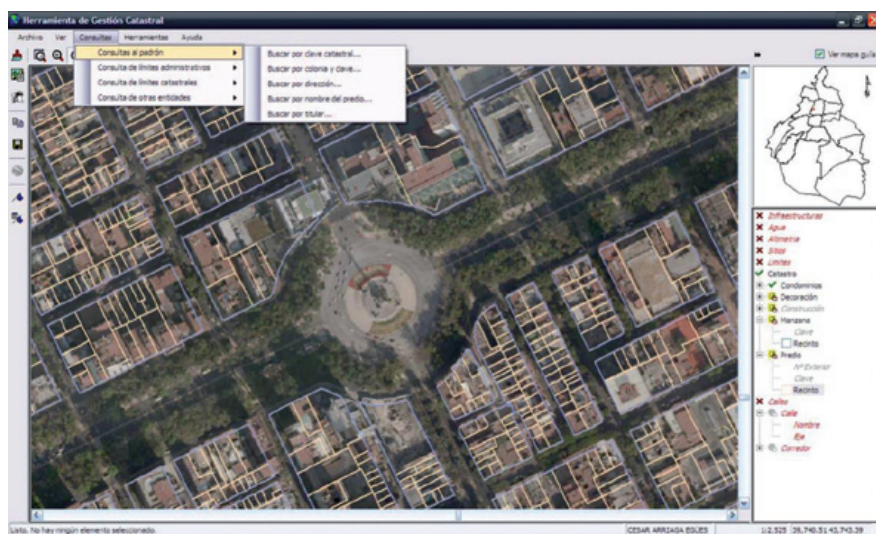


Figura 1. Cartografía de México DF

- Cambios e incorporaciones de inmuebles en el Registro Público de la Propiedad, que también forma parte de la estructura administrativa del Distrito Federal, obteniéndose con ello un procedimiento que garantiza a partir de su entrada en vigor una adecuada coordinación entre el Catastro y el Registro, cuestión esta pendiente de una solución definitiva en muchos países latinoamericanos, al igual que ocurre en España.
 - Información de transacciones de compra-venta de inmuebles a través del pago del Impuesto Sobre Adquisición de Inmuebles (ISAI), que aporta datos precisos tanto de los cambios jurídicos que se producen como de los precios de venta, así como otra información procedente de otras bases de datos inmobiliarias.
 - Integración de los movimientos hechos por notarios, lo que permite obtener información de las transacciones realizadas, pero también de otras operaciones tales como segregación, división o agrupación de fincas realizadas ante notario.
- Finalmente también se integran las valoraciones realizadas por expertos colegiados, que permiten obtener referencias específicas y muy valiosas del valor de los inmuebles, imprescindibles para monitorizar la relación existente en cada momento entre el valor de mercado y el valor catastral.

8. LA ACTUALIZACIÓN DEL IMPUESTO PREDIAL

Como se indicó al principio de este trabajo, el objetivo inmediato de PROMOCA fue revertir la situación que se estaba produciendo respecto al impuesto predial y lograr incrementos significativos en el volumen de ingresos generado a través de este tributo.

El impuesto predial es, dentro de los tributos propios, la principal fuente de ingresos de los municipios en muchos países latinoamericanos. Sin embargo, en México su importancia es menor que la de otros países de la OCDE y de América Latina, puesto que tan sólo supone el 0,27% del PIB, frente al 0,44% de Argentina, el 0,52% de Brasil y el 0,48% de Chile.

Además, y en contra de lo que podría suponerse en un Estado que se organiza sobre un modelo federal, en México se mantiene una fuerte dependencia financiera de los Estados y de los Municipios respecto del presupuesto del Gobierno Federal, del que reciben aportaciones directas. En concreto, en 2010 el 71% de los ingresos de los municipios procedía de aportaciones del presupuesto federal, mientras que sólo el 26% procedía de la recaudación de los impuestos propios, correspondiendo al Impuesto Pre-

El impuesto predial es, dentro de los tributos propios, la principal fuente de ingresos de los municipios en muchos países latinoamericanos. Sin embargo, en México su importancia es menor que la de otros países de la OCDE y de América Latina, puesto que tan sólo supone el 0,27% del PIB, frente al 0,44% de Argentina, el 0,52% de Brasil y el 0,48% de Chile

dial más del 30% de esa cantidad, según datos del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS). Ante esta situación, existe en los últimos años una acción política específica impulsada desde el Gobierno de la Federación y dirigida a mejorar la recaudación del impuesto predial en los municipios, mediante el desarrollo de distintas líneas de trabajo que incluyen, entre otras cuestiones, la financiación hasta un 40% del coste de los trabajos.

Esta situación era igualmente negativa en lo que se refiere al impuesto predial del Distrito Federal, que se encontraba igualmente desfasado, aunque en mucha menor proporción que otros Estados. Esta distancia se ha acentuado en los últimos años, hasta el punto de que la cuota ingresada por impuesto predial en México D.F. suponía en 2010 el 28% del total recaudado en todo el país.

En este escenario general, la situación concreta del caso del Distrito Federal queda bien reflejada en el gráfico siguiente, obtenido del informe de cuentas públicas que elabora la Secretaría de Finanzas. Entre el 2002 y el 2007 la recaudación obtenida se había «congelado» debido a las distintas causas que se citaron al principio de este trabajo, manteniéndose en una cifra de 6 500 millones de pesos, equivalente a 370 millones de euros.

En 2007 comienzan los trabajos de actualización del catastro y ya a partir de esa fecha empiezan a observarse mejoras significativas en el impuesto, según se van incorporando nuevos inmuebles en el padrón. En 2010 se sitúa la cifra recaudada en torno a los 7 000 millones de pesos (398 millones de euros), pero es a partir de 2011 donde este incremento resulta realmente espectacular, alcanzándose los 8 000 millones de pesos (456 millones de euros) en 2011, y los 10 000 millones de pesos en 2012 (casi 570 millones de euros).

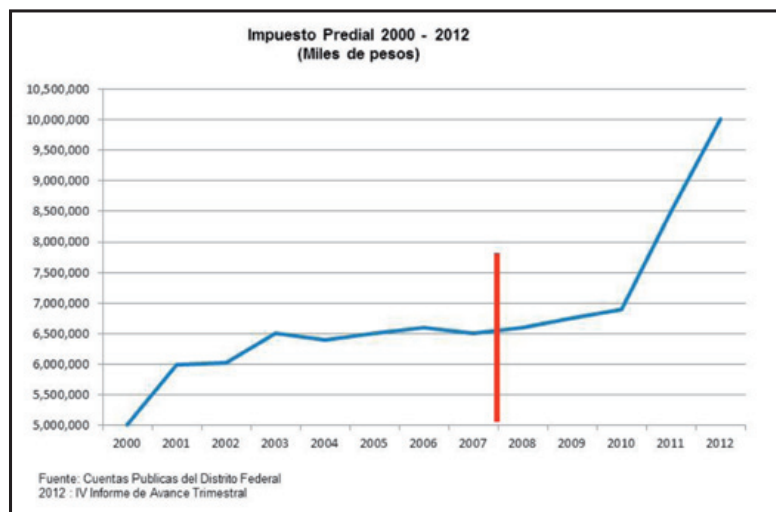


Tabla 1. Impuesto Predial 200-2012

Es decir, que tan sólo en 2012 se recaudaron 3 500 millones de pesos (223 millones de euros) más que al inicio de los trabajos de actualización, lo que da una idea exacta del éxito logrado y de cómo la actualización de los catastros puede ser una herramienta decisiva para mejorar la recaudación del impuesto predial, situación que puede perfectamente ser replicada en muchos países latinoamericanos, donde la desactualización de la información catastral condiciona gravemente la capacidad recaudatoria del tributo.

Además, y esto es igualmente importante, la integración en la base de datos catastral de información precisa y actualizada de los inmuebles, incluyendo las fotos de fachada de cada uno de ellos, así como del resto de la información descriptiva y jurídica, permitió acabar definitivamente con la grave situación de inseguridad jurídica que se describió al inicio de este trabajo. A partir del momento en que las autoridades catastrales dispusieron de una buena información catastral, y pudieron presentarla ante los Tribunales, el número de sentencias desfavorables se redujo al mínimo, ganándose a partir de entonces la gran mayoría de los procesos planteados. Es decir, que no sólo se mejoró la calidad de la información, sino también se incrementó significativamente la seguridad jurídica de la base de datos catastral, con efectos muy favorables respecto a la estabilidad del tributo y, por extensión, de todo el sistema de ingresos de la ciudad. Esta garantía del sistema permite a las autoridades de la ciudad de México que puedan realizar previsiones fiables de ingresos a medio plazo, lo cual es especialmente importante, por ejemplo, para obtener financiación anticipada con la que abordar inversiones importantes en nuevos servicios y equipamientos públicos.

Hay un último dato sobre esta cuestión, de una gran importancia, que debe ser destacado. Estos incrementos de recaudación se han producido sin subir en absoluto

la presión fiscal sobre aquellas personas que ya pagaban el impuesto predial conforme a la legalidad. Aquellos ciudadanos cuyas propiedades estaban correctamente descritas en la base de datos catastral no han visto subir significativamente la cuota del impuesto que ya pagaban. Al no haberse producido un proceso de reevaluación masivo, es decir, al no haberse modificado los criterios aplicados a la valoración catastral, los inmuebles bien descritos no han cambiado de valor, y por tanto sus propietarios no han de pagar más cuota. Los incrementos generados antes señalados se han producido bien sobre los inmuebles que no figuraban en el catastro o bien sobre aquellos que aunque sí figuraban, no estaban descritos conforme a sus características reales.

9. UNA PREGUNTA Y ALGUNAS CONCLUSIONES

En el momento actual la fase inicial de implantación de PROMOCA ha concluido, si bien continúan desarrollándose distintos trabajos para garantizar la actualización permanente de la información y para integrar nuevas herramientas y capacidades no previstas en el diseño original. En relación con ello surge una pregunta, muy frecuentemente planteada por los responsables políticos de los catastros latinoamericanos cuando se plantean abordar un proyecto similar al descrito en este caso: ¿Cuándo concluye un proceso de actualización catastral?

La respuesta es evidente para todo aquel que haya reflexionado sobre esta cuestión: nunca. Las ciudades no son estáticas, sino que evolucionan físicamente en respuesta a los sistemas sociales que desarrollan su actividad en ellas. Modelos rechazados anteriormente en muchas ciudades latinoamericanas, como la vivienda en régimen de condominio (propiedad horizontal), que anteriormente era relegada en favor de la vivienda unifamiliar, cambian en la actualidad y cada vez son más las personas, incluso con alto nivel económico, que prefieren ahora esta opción, que les garantiza una buena ubicación geográfica y un reparto de costes como el mantenimiento o la seguridad, que antes debían financiar individualmente.

Asimismo, los mercados inmobiliarios introducen novedades diariamente, señalando zonas y productos inmobiliarios que suben de valor mientras que otros lo pierden. Cada día cientos de inmuebles cambian de manos en cualquier gran ciudad latinoamericana, y cada día evoluciona el precio que ha de pagarse por los inmuebles.

En este escenario, es obvio que la actualización del catastro nunca finaliza, como nunca se para la dinámica inmobiliaria. Un buen sistema de catastro será aquel que sea capaz de seguir este movimiento perpetuo, en sus tres vertientes: física jurídica y económica. Es decir, siendo capaz de integrar rápidamente todas las alteraciones que se produzcan en la superficie de las parcelas o en las construcciones que surgen sobre ellas, siguiendo de forma inmediata todas las operaciones de cambio de titularidad que se produzcan, y finalmente, identificando cuál es el valor real de mercado en cada momento, y cuál es su relación con el valor catastral que se está utilizando.

Ahora bien, es precisamente esta necesidad de actualizar permanentemente la información catastral la que nos permitirá no repetir nunca más un proceso masivo de actualización como el desarrollado en este proyecto. Precisamente porque diariamente cambia la ciudad, el mantenimiento también debe plantearse como una rutina diaria.

Con todo ello, podemos cerrar este artículo con una conclusión general y varias específicas.

Como conclusión general puede señalarse que los responsables del catastro del Distrito Federal de México han logrado cumplir sus objetivos estratégicos mediante el desarrollo del proyecto de modernización catastral. PROMOCA ha sido ejecutado conforme a lo planificado, en los plazos establecidos- incluyendo las prórrogas previstas- y atendiendo a las expectativas generadas, lo cual no es una obviedad, sobre todo teniendo en cuenta que en la región latinoamericana los antecedentes históricos nos muestran muchos casos de proyectos de modernización catastral iniciados con gran ímpetu, pero abortados por distintas causas a mitad del proceso, sin llegar a completarse su ejecución.

Pero además de esta conclusión genérica, debemos destacar tres conclusiones específicas:

- En primer lugar, se cumplió plenamente el objetivo de contar con un modelo catastral moderno, con una información plenamente actualizada y accesible a través de internet. Un catastro que responde fielmente al adjetivo de multifinilar, en tanto que está abierto a todos aquellos usuarios tanto públicos como privados que precisan de información sobre el territorio. Y además, un modelo que integra sistemas que garantizan el mantenimiento permanente de su información, para que nunca más sea necesario repetir un proceso de iguales características en la ciudad de México.
- En segundo lugar, se cumplió plenamente el gran objetivo de mejorar las capacidades del impuesto predial, en un doble sentido: mejorando significativamente su capacidad recaudatoria, al generar una espiral positiva de incremento de recaudación para los próximos ejer-

cios sin incrementar la presión fiscal sobre quien ya pagaba adecuadamente el tributo, al tiempo que se dota al valor catastral de una fortaleza y un nivel de seguridad jurídica como no había tenido en los años anteriores. El impuesto predial en la ciudad de México es, gracias a este proyecto, mucho más potente en términos financieros, pero también más justo y más equitativo.

- Finalmente, y para cerrar este trabajo, cabe concluir que el proyecto de modernización del catastro de la ciudad de México es un auténtico caso de éxito perfectamente replicable en otras ciudades latinoamericanas, y que pone de manifiesto que este tipo de iniciativas son perfectamente ejecutables si se cuenta con la adecuada determinación política, con los medios económicos necesarios y con la solvencia tecnológica precisa para llevar a cabo un proyecto tan rico y complejo como el que se acaba de describir.

REFERENCIAS

- [MAR11] Marulanda, G. (2011, octubre). La actualización catastral en Bogotá: experiencia reciente. CT-Catastro nº 72. <http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct72/3.pdf>
- [ONU12] «Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe. Rumbo a una nueva transición urbana». ONU-Habitat, Agosto del 2012. www.unhabitat.org

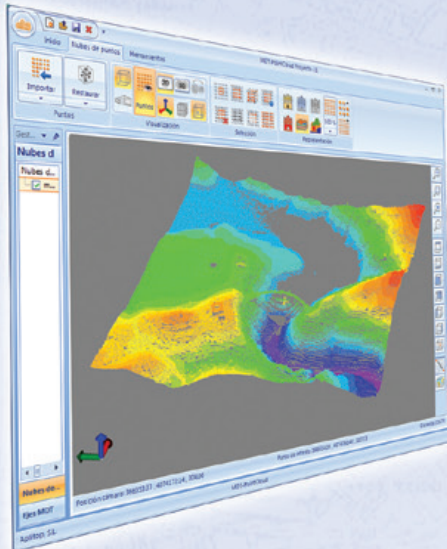
Sobre el autor

Ignacio Durán Boo

Licenciado en Derecho y Especialista en Derecho Urbanístico, comenzó su carrera en la administración local, para pasar posteriormente a la Dirección General del Catastro, donde desempeñó la plaza de Adjunto al Director General. Desde este cargo contribuyó a la fundación de los Comités Permanentes del Catastro en la Unión Europea y en Iberoamérica, y participó en el diseño e implantación de diversas iniciativas, entre ellas la relacionada con el acceso y descarga masiva de la información catastral. Ha publicado diversos trabajos relacionados con el catastro, y dirigido numerosos cursos y seminarios sobre esta actividad. En la actualidad dirige el Centro Experto de SIG y Catastro en Informática el Corte Inglés (IECISA), y es autor y editor del blog "Catastreros".



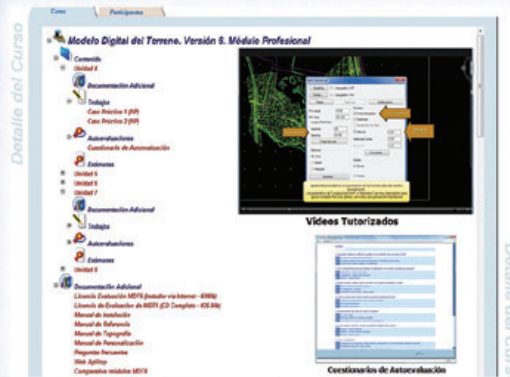
TcpMDT PointCloud



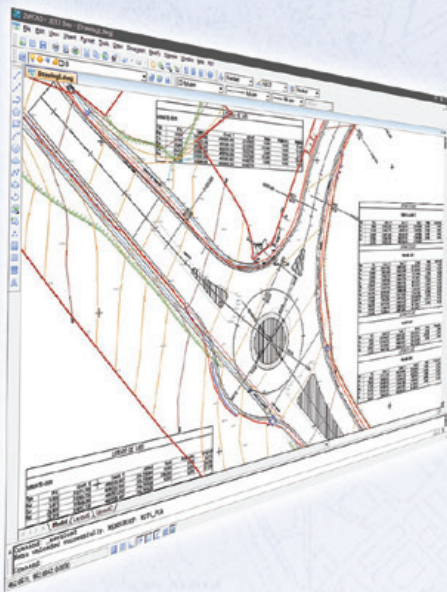
Extensión de MDT para explotación de Nubes de Puntos

Aplicación integrada en TcpMDT que permite la visualización y explotación de nubes de puntos capturadas con tecnología LiDAR o escáners convencionales.

Cursos OnLine



TcpMDT CAD
Powered by ZWCAD+



Proyectos de Topografía y CAD en un solo producto

Diseñado para aquellos profesionales que buscan una herramienta para la realización de proyectos sin necesidad de adquirir además una costosa plataforma CAD.

Cursos On-line de MDT

Ofrecen tutoriales en video con audio y comentarios, documentación y manuales, cuestionarios de autoevaluación y ejercicios prácticos. También incluyen el apoyo de un tutor para resolver cualquier cuestión.

EN CONTINUA INNOVACIÓN



Project Casey Jones, 1945-46: el vuelo histórico «fotogramétrico» de la serie A en España y sus aplicaciones cartográficas

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 14-24
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

Juan Antonio Pérez Álvarez¹, Francisco Manuel Bascón Arroyo²,
Francisco Javier Crespo Pérez³, María Cristina Charro Lobato⁴

Resumen

La presente comunicación aborda la utilización de los vuelos fotográficos aéreos históricos para su aplicación en estudios multitemporales para labores catastrales y deslindes de la propiedad, evolución de fenómenos naturales, arqueología, etc. Surge como fruto del proyecto fin de carrera denominado «Ortofotografía histórica del núcleo urbano de Badajoz y su entorno» presentado en la Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida. En España, hemos de remontarnos a la década de los cuarenta en el siglo XX para encontrar el vuelo de mayor cobertura, de casi la totalidad del territorio nacional. Dicho vuelo recibe por el CECAF (Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire) la denominación de «Vuelo de la serie A». «En nuestra opinión es más correcto utilizar la denominación original de sus autores: «Project Casey Jones» [OFF47]. En el presente trabajo se ha realizado un estudio detallado de este vuelo, con el objetivo de generar ortofotos del núcleo urbano de Badajoz. Debido a que la zona objeto de estudio era relativamente pequeña (dos pasadas con cinco fotografías cada una), se realizó un primer ajuste del bloque por haces con parámetros adicionales y también se orientaron los modelos, de forma independiente cada uno de ellos, con seis puntos de apoyo, todos extraídos de cartografía a escala 1:10.000. A partir de los resultados del ajuste se generaron los modelos digitales, ortofotos y se realizó un chequeo de la zona con puntos de control.

Abstract

This communication approaches the use of historical aerial photographic flights applied to multitemporal studies to work with reviews of cadastral and property boundaries, evolution of natural phenomena, archaeology, etc. It arises as a result of a degree project entitled "Historical orthophotography of the urban nucleus of Badajoz and its environment" presented at the University of Extremadura, University Center of Merida. In Spain, we have to go back to the forties, in the twentieth century, to find the flight of higher coverage, of almost the whole country. This flight received by the CECAF (Cartographic and Photographic Center of the Air Force) the name of 'Flight of the series A'. In our opinion, it is more appropriate to use the original name of the authors: Project Casey Jones [OFF47]. In the present work we have conducted a detailed study of this flight, in order to generate orthophotos of the urban nucleus of Badajoz. As the area under study was relatively small (two strips with five photographs each), a first adjustment was performed by setting the block with additional parameters as well as models were oriented, independently each, with six ground control points, all drawn from cartography to scale 1:10.000. Digital elevation models and orthophotos were generated after the adjustment results, and a test of the area with checkpoints was conducted.

Palabras clave: 1940 Army Map Service, Guerra Fría, Fairchild, K-17, K-18, Metrogon, Fotogrametría histórica, legado fotogramétrico, Project Casey Jones, vuelo americano, Vuelo Serie A de España.

Key words: 1940's Army Map Service, Cold War, Fairchild, K-17, K-18, Metrogon, Historical photogrammetry, photogrammetric legacy, Project Casey Jones, "american flight", Spanish "Serie A".

(1) Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida
japerez@unex.es

(2) Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida
fbascona@alumnos.unex.es

(3) Ejército del Aire, CECAF
fcreper@ea.mde.es

(4) Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Prehistoria
mccharro@ghis.ucm.es

Recepción: 23-05-2013
Aprobación: 31-05-2013

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda el uso de los vuelos fotográficos aéreos históricos para su aplicación en deslindes de la propiedad, evolución de fenómenos naturales, arqueología, etc. Surge como fruto del proyecto fin de carrera (PFC) de «Ortofotografía histórica del núcleo urbano de Badajoz y su entorno» (Mérida, septiembre de 2011) que comprende además el vuelo de la década de los cincuenta no desarrollado en este trabajo. Con el objeto de valorar por medio de enfoques multitemporales la cuantificación de la acción de los procesos geodinámicos, impacto de actividad humana, análisis de estructuras morfológicas, etc., basándose en diferentes vuelos históricos, se ha de contar con una serie periódica adecuada que permita conocer el estado de los fenómenos a estudiar en sucesivas fechas. En la mayoría de los casos se ha de disponer al menos con el vuelo más antiguo del territorio como base de partida previo a los cambios. En España hemos de acudir al vuelo de la década de los cuarenta, pues es el de mayor cobertura, llegando a casi la totalidad del territorio nacional y ofrece la situación del país tras la postguerra, sin que se hubieran iniciado aún procesos que acarrearían una gran transcendencia económica y transformación territorial [QUI97]. Dicho vuelo se realizó entre enero de 1945 y octubre de 1946 y recibe el nombre de «Vuelo de la serie A» por el CECAF. En nuestra opinión, es más correcto utilizar la denominación original de sus promotores: Project Casey Jones [OFF47]. Este fue el vuelo «fotogramétrico» de toda Europa Occidental realizado al final de la Segunda Guerra Mundial por la fuerza aérea estadounidense USAAF (*United States Army Air Forces*) y sus aliados británicos de la RAF (*Royal Air Force*).

2. VUELO

El vuelo surgió de la necesidad que tenían los Aliados de contar con una cartografía adecuada del territorio europeo, necesidad evidente al desembarcar en Normandía en junio de 1944 [BOY88]. El proyecto se propuso en el mes de octubre de ese mismo año, pero no se pudo llevar a cabo hasta la derrota final de Alemania por el elevado número de aeronaves requerido [BOY88] [WIT08] [YEA08]. Las organizaciones promotoras fueron el *United States Strategic Air Forces in Europe* (USSTAFE), la *Intelligence Section of the European Theater of Operations* (ETO), el *Army Corps of Engineers* y la *Royal Air Force* (RAF). El proyecto fue clasificado como *Top Secret* definiendo un área de 5 millones de kilómetros cuadrados que abarcaba Europa Occidental y el norte de África, tal y como se detalla en la Figura 1. La RAF efectuó el vuelo en las islas Británicas, pe-

El vuelo surgió de la necesidad que tenían los Aliados de contar con una cartografía adecuada del territorio europeo, necesidad evidente al desembarcar en Normandía en junio de 1944 [BOY88]. El proyecto se propuso en el mes de octubre de ese mismo año, pero no se pudo llevar a cabo hasta la derrota final de Alemania por el elevado número de aeronaves requerido

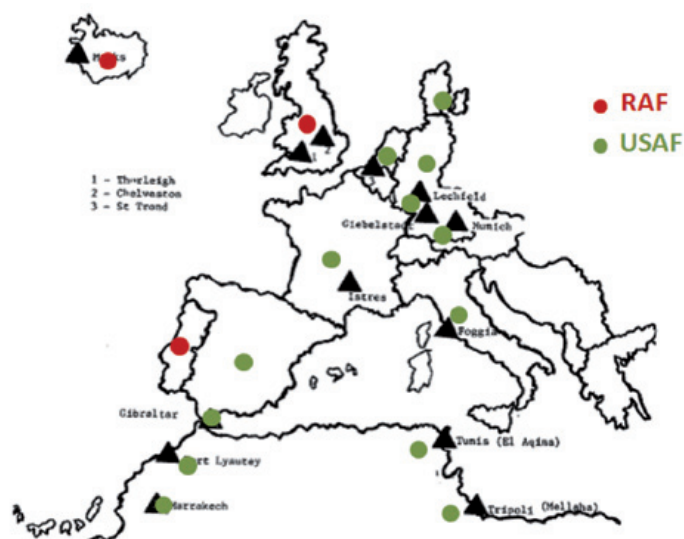


Figura 1. Países volados por el USAF (excepto Gran Bretaña y Portugal) y aeropuertos base en Europa y Norte de África durante el proyecto Casey Jones. Tomado de [BOY88]

nínsula Escandinava y Portugal y el USAF en el resto. Para suministrar a los británicos una copia del vuelo, el *Army* estadounidense prefirió colocar una segunda cámara, con exposiciones simultáneas a tener que obtener una copia [BOY88]. Existen indicios que junto al proyecto «oficial» se realizaron incursiones en los países que formarían la órbita soviética, como la ex Yugoslavia [YEA08] o Albania [BOY88]. Junto al proyecto matriz se realizó otro menor destinado a obtener fotografías a gran escala de zonas aeroportuarias; «Casey Jones Little» [OFF47].

El aspecto clave del vuelo en su momento y que derivó en su utilización posterior por los Aliados, e incluso en el uso que de él se puede hacer actualmente, fue la premura en su realización. Disponiendo de sólo 18 meses debería

finalizar en 1946. Se primaron zonas según varios criterios:

- Países en los que, por su participación en la Guerra, se mantenía una permeabilidad fronteriza de tránsito de fuerzas aéreas.
- El clima, pues en el norte los periodos óptimos eran más limitados dejando el otoño y el invierno al Mediterráneo.
- Regiones con geografía similar, pues la altura debía mantenerse por la escala.

Aquellos países neutrales o germanófilos; Suiza, España y Portugal, no aceptaron inicialmente el libre tránsito por su espacio aéreo. Desde un principio se negoció la disposición de los países de una copia completa del vuelo como método de facilitar los acuerdos, pero no fue tan inmediato. En España los vuelos se iniciaron en febrero de 1945 [QUI97], ya que se utilizaban líneas de transporte militares autorizadas entre los aeropuertos de Gibraltar e Istres en Francia, en las cuales se desviaban de su ruta para tomar a «escondidas» fotografías de una zona. Dicha actuación se mantuvo hasta el mes de abril cuando se detuvo, quizá por la intimidación de los cazas españoles. El USSTAFE se vería obligado a negociar un acuerdo formal con el gobierno español. Éste se alcanzaría hacia el 11 de septiembre de 1945 reanudando así los vuelos, llevados a cabo por el Grupo de Bombarderos nº 306 [BOY88]. En primavera y verano la flota se desplazaba al norte de Europa para aprovechar el benigno intervalo climático, abandonando la península Ibérica, motivo por el que muchas áreas de España y del Mediterráneo no se volaban en la época más adecuada técnicamente. Pese al acuerdo, parece que se mantuvo cierta tensión, pues los cazas vigilaban regularmente a los bombarderos norteamericanos; en la Figura 2 se ilustra una imagen de vigilancia a la que fueron sometidos los norteamericanos por parte de las autoridades suizas y españolas. A ojos norteamericanos, se produjeron incidentes, muy tardíos a nuestro parecer, entre cazas españoles Messerschmitt y Fockewulf, y los B-17 americanos (desarmados) al sobrevolar Barcelona a inicios de septiembre de 1946 [BOY88]. Seguramente era una argucia diplomática para presionar y renegociar las condiciones iniciales. Portugal negó inicialmente la autorización a los estadounidenses que requirieron de los británicos para que intercedieran en la relación. El vuelo de las Azores los realizó el USAF y el resto los realizó la RAF entre mayo y agosto de 1947 [RED10], una vez finalizado el grueso del proyecto.

El cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense determinó la escala del vuelo «proximada» en 1:40.000, con las focales de 6 pulgadas y altitudes de vuelo de 20 000, de ahí que las alturas medias de vuelo varíen en función de la orografía del terreno teniendo escalas que

El archivo del CECAF del vuelo de la serie A (1945-1946) se compone de un total de 435 rollos de película, de los cuales a principio de los años 80 comenzó el deterioro de los negativos, que afectaba al soporte de la emulsión (físicamente se deshacía por contaminación de algún hongo). En el año 1986 hubo un intento de recabar financiación para duplicar estos negativos y evitar su pérdida (presupuestado en 25 millones de pesetas de aquella época), pero no tuvo éxito, y el deterioro y la pérdida de rollos continuaron



Figura 2. Arriba vigilancia por caza español Heinkel 112D sobre un avión participante en el Casey Jones Project en el Marruecos español en 1946. Tomado de [BOY88]

Abajo vigilancia del bombardero B-17 44-8846 del 305 Bomb Group por un caza BF 109 suizo durante el proyecto Casey Jones. Tomado de [AER12]

varían entre la 1:34.500 y la 1:50.500. Se perseguía con estos parámetros de vuelo la obtención de cartografía a escala de 1:25.000 [BOY88]. El archivo del CECAF del vuelo de la serie A (1945-1946) se compone de un total de 435 rollos de película, de los cuales a principio de los años 80 comenzó el deterioro de los negativos, que afectaba al soporte de la emulsión (físicamente se deshacía por contaminación de algún hongo). En el año 1986 hubo un intento de recabar financiación para duplicar estos negativos y evitar su pérdida (presupuestado en 25 millones de pesetas de aquella época), pero no tuvo éxito, y el deterioro y la pérdida de rollos continuaron. En el año 2004 el CECAF inició dos actuaciones, por un lado se comenzó el proceso de digitalización del vuelo, para evitar su pérdida definitiva y por otro, se solicitó a los Estados Unidos la reposición de los rollos de película deteriorados. En total, a día de hoy se han deteriorado 113 rollos de película, de los cuales se han repuesto por los americanos 93. Faltarían pues 20, de los cuales 10 se deterioraron después de su digitalización, y de los otros 10 rollos falta información, que no se han podido digitalizar todavía (están solicitados desde hace un par de años). Por otra parte, de la copia en papel (contactos originales cedidos por los americanos), faltan 3 rollos, cuya información está digitalizada a partir de la película [CEC12].

Los ejes de vuelo se delimitaban sobre la cartografía, planificándose las pasadas separadas 4 millas, con un recubrimiento lateral del 30% [BOY88]. Sin embargo, en varios rollos con los que hemos trabajado se aprecian pasadas que alcanzan el 45 %, atribuible a la dificultad e inexperience en vuelos fotogramétricos del 305 y 306 Grupo de Bombarderos. En la Figura 3 se muestran las diferentes series temporales de tomas fotográficas efectuadas durante este periodo.

En cada una de las salidas se realizaban dos pasadas cubriendo un total de 400 millas (en el almacén tipo A-5 se podían almacenar 250 fotogramas/ rollo), en sentido este-oeste y viceversa a la vuelta [BOY88]. El recubrimiento longitudinal se fijó entre el 55-60 %. El método de navegación general consistía en trazar la ruta previamente sobre la cartografía existente, marcando los puntos de control de paso que durante la realización del vuelo se identificaban sobre el terreno empleando el visor de bombardeo Norden, bien con uno o dos tripulantes simultáneamente, para corregir así la desviación sobre la ruta programada [BOY88]. Estos puntos distaban 10 millas entre sí y se volaba a una velocidad de crucero de 180 nudos. Según información recibida por parte de uno de los pilotos, Richard Nemeth del vuelo de la década de 1950 próximo en algunos medios a este, en algunos casos se utilizaba para el seguimiento de la ruta de navegación los rollos fotográficos rechazados en el control de calidad, siendo este tipo

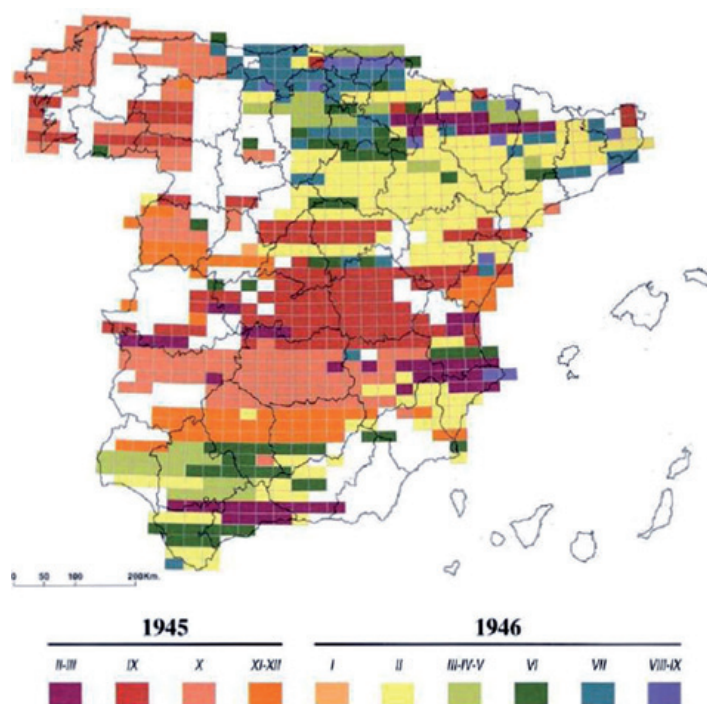


Figura 3. Fechas de ejecución del vuelo de la Serie A. Tomado de [QUI97]

de documento el preferido por los pilotos para la navegación, ya que la cartografía existente a escalas 1:50.000 y 1:100.000 presentaba grandes defectos.

Poco a poco un segundo operador del visor completó la tripulación para asegurar el control y fijación de ruta, aunque algunas zonas como la costa norteafricana carecían de puntos suficientes, bien por sus características geográficas o por la inexistente o deficiente cartografía. En algunas regiones de Italia y Túnez, el 366th Escuadrón (305 Grupo de Bombarderos) formaba una escuadrilla de tres aviones, el central dotado de RADAR para fijar la ruta y los otros dos siguiendo al central, lo cual hizo aumentar el rendimiento. El *Army Corps of Engineers* revisaba el material de cada salida, controlándose los recubrimientos, contraste y rechazándose aquellos rollos en los que las nubes ocupasen más del 20% de la superficie. Los vuelos se revisaban cada día ubicando las pasadas sobre una cartografía general a escala 1:250.000 por el personal del *Army Corps of Engineers*, rechazando el que no se ajustaba a las prescripciones dadas. Al parecer éste era un aspecto clave, pues no detectar un bajo recubrimiento o huecos in situ sobre el terreno, cuando los aviones estaban en la región, requería meses después, desplazar nuevamente algunas unidades y personal con notables retrasos de las campañas. De hecho, estas campañas de revisión se prolongaron durante el año 1947 una vez finalizado el grueso del proyecto y empleando una pequeña unidad. Las

Azores e Islandia fueron las más tardías en su finalización, así como la zona pirenaica española [BOY88]. La Figura 4 ilustra las revisiones efectuadas por la *Army Map Service*, departamento encargado de la cartografía y que surgió del *Army Corps of Engineers*.



Figura 4. Revisores Army Map Service Tomado de [WIT08]

Estas campañas de «relleno de huecos» posteriores al vuelo de una zona se reflejan en los planos maestros de ubicación de pasadas por sus ejes de pasadas desiguales.

No se ha constatado o encontrado indicio alguno de la realización del apoyo en campo, que sí se realizó en los vuelos de la década de los cincuenta [DEP55] [URT00]. Si bien inicialmente se perseguía obtener cartografía a escala 1:25.000, es posible que debido a la magnitud del proyecto y a las reticencias que pondrían algunos países, se optara por la metodología llevada a cabo por los EEUU en la obtención de cartografía en Europa durante la 2ª Guerra Mundial; actualizar la cartografía disponible sin necesidad de realizar aerotriangulaciones u otros métodos fotogramétricos rigurosos. El vuelo original fue enviado a los Estados Unidos y la copia británica al archivo de la RAF en Benson [BOY88]. Actualmente la copia de los archivos originales referentes a España se encuentra en los archivos del NARA «National Archives and Records Administration» en el College Park de Maryland [NAR12].

3. CÁMARA

Para la realización del vuelo se utilizó principalmente la cámara Fairchild K-17B. Reseñar que, en menor medida y en algunos pocos casos, al menos en España, se usó también la K-18, cámara destinada principalmente a la obtención de fotografías a gran escala con grandes altitudes,

Estas campañas de «relleno de huecos» posteriores al vuelo de una zona se reflejan en los planos maestros de ubicación de pasadas por sus ejes de pasadas desiguales

para evitar ser alcanzados por el enemigo. Disponía de una focal de 24 pulgadas con un formato de 9 por 18 pulgadas. La K-18 empleaba los modelos de almacenamiento del tipo A-7 o A-8 cada uno de ellos con una capacidad de almacenamiento de 47 y 245 fotogramas respectivamente. Suponemos que esta cámara se empleó en el *Casey Jones Little* para obtener imágenes a mayor escala de las zonas aeroportuarias en él requeridas, simultáneamente y a la misma altura de vuelo que el resto del *Casey Jones*. En estos pocos vuelos se montarían dos K-17 y una K-18 en cada avión. No se ha localizado copia del *Casey Jones Little* en los archivos del CECAF. No obstante la K-17 fue predominante y mayoritaria en la cobertura aérea. Aunque en la época existía la cámara fotogramétrica T-5, más adecuada, estaba aún en fase de desarrollo, había pocas unidades y, sobre todo, el factor tiempo apremiaba. Incluso al inicio del proyecto no había muchas K-17B disponibles. En la Figura 5 se muestra una imagen de la cámara K-17C y en la Tabla 1 se exponen a modo de resumen cada una de las características principales de la cámara K-17.

Como cámara de la fuerza aérea, la K-17 estaba destinada principalmente para el uso en operaciones de reconocimiento y fotointerpretación y no para la obtención de cartografía precisa [LIV64]. No era por tanto una cámara aérea métrica ni fotogramétrica, no se registraba en cada exposición la información marginal del fotograma requerida, xerografiándose manualmente la necesaria del vuelo en la primera y última fotografía de cada rollo, conteniendo el número de pasada, número de fotograma, fecha, focal equivalente, altura de vuelo y coordenadas de inicio y finalización de las fotografías del rollo. En la Figura 6 se muestra un detalle de una fotografía con la información marginal proporcionada por la cámara.

La K-17B consolidó el formato de 9×9" (23×23 cm) y 6" de focal, pero carecía de metricidad y de relación fija entre el plano focal y el sistema óptico pues las marcas fiduciales estaban alojadas en el almacén y no en el cono [CRO55]. Puede observarse un detalle de las marcas fiduciales en la Figura 7.



Figura 5. Fairchild K-17 C, de 6". Tomado de [SNA97]

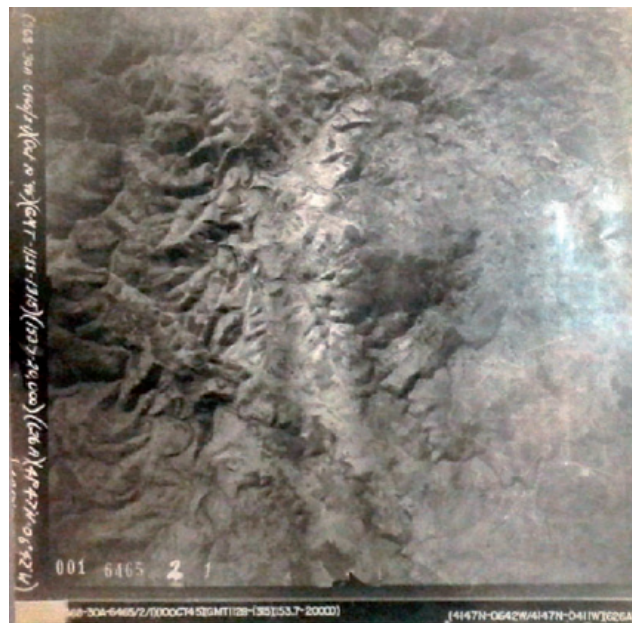


Figura 6. Información marginal vuelo serie A: fotografía 1 de la pasada 6465, altura 20 000 pies

Denominación	Características
K-17	Focal de 6, 12 y 24", operaba manual y eléctricamente. En reconocimiento y fotogrametría.
K-17B	Ídem cuando exclusivamente empleaba la focal de 6", para uso fotogramétrico.
K-17C	Ídem anterior pero de mayor velocidad de obturación y de movimiento del tambor del almacén.
K-17D	Ídem pero únicamente operaba eléctricamente. Además de la adaptación especificación Radio Noise MIL-L-6161B.

Tabla 1. Características principales de la cámara Fairchild K-17. Tomado de [AME52] [SEC57]

Más tarde, en la década de los cincuenta, se realizaron modificaciones en la K-17 por empresas privadas como la Kargl Company Inc. de San Antonio, Texas [BAS12], que probablemente consistieron en alojar las fiduciales en el cono de unidades procedentes de un excedente o venta de saldo por el ejército estadounidense. Fue posible así reutilizar con fines fotogramétricos comerciales la K-17, pero no en la década de los cuarenta. En 10 de estas cámaras, consultado su certificado de calibración, hay una desviación media de 50 micras entre la focal equivalente y la calibrada. De ahí que se debería usar a priori la distancia focal equivalente en la orientación interna, que sí está disponible en el archivo del CECAF.

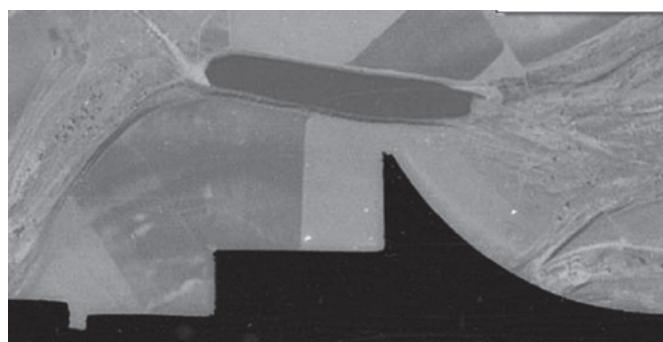
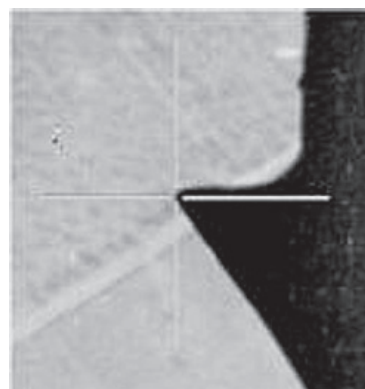


Figura 7. Imagen superior muestra detalle de lectura sobre marca fiducial. En la inferior, ilustración de marca fiducial K-17. Las flechas de mayor tamaño en el fotograma indican el sentido de vuelo

Algunas K-17, con sus lentes *Metrogon* fabricadas en la década de los cuarenta y calibradas en los inicios de 1950, presentan distorsiones en torno a las 120 micras [BAS12]. Estas cámaras estaban equipadas en 1945 con la lente *Metrogon* tipo I, de distorsión no controlada. Su distorsión radial según norma no sería superior a 240 micras [CRO55], diferente a la tipo II de uso fotogramétrico, de distorsión controlada para su empleo en restituidores *Kelsh* y *Multiplex* y con valores máximos según norma de 120 micras.

Ante la falta de datos en esta década sobre las distorsiones en el tipo de lente *Metrogon* I que montaban estas cámaras, pueden aplicarse los valores medios dados por *Sewell* para la tipo II [SEW56] con buenos resultados [CZI08], ya que algunas de las lentes del tipo I cumplían los requisitos del tipo II. Este estudio estadístico se llevó a cabo con 251 lentes *Metrogon* tipo II montadas en las cámaras *Fairchild* T-11, ensambladas en 1951 por *Fairchild* el USAF (con número de almacén 51-###). En la Tabla 2 se muestra el valor medio de las distorsiones del estudio obtenido por *Sewell*.

Colimador	7.5°	22.5°	30°	35°	40°	42.5°	45°
D. R.(micras)	-3	46	92	113	78	0	-113

Tabla 2. Distorsión media de *Metrogon* en T-11. Tomado de [SEW56]

Por lo que respecta al poder separador de la película utilizada en los vuelos en condiciones reales de funcionamiento era 10 líneas doble pares por milímetros (lp/mm) [KIN47] [MOY54]. Los fotogramas españoles presentan un pobre contraste y la aparición de heterogeneidades en el brillo circunstancia que se reproduce en los portugueses [RED10]. En la Figura 8 se puede observar el bajo contraste que presenta la imagen así como bandas verticales con irregularidades radiométricas.

La base utilizada en la película era la *Eastman Topographic Safety*, compuesta de acetato y libre de nitratos, cuyas deformaciones por cambios de humedad eran similares tanto longitudinal como transversalmente, en torno al 0.4%, es decir, 0.9 mm para el formato de la cámara 9x9" [MCC44].

4. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Ante las diversas variables expuestas con anterioridad respecto a este vuelo se ha pretendido en este apartado realizar un ejemplo de aplicación con las diferentes fuentes de datos expuestas tanto de la cámara como del vuelo. La información referente a este apartado se ha extraído en su totalidad del proyecto fin de carrera denominado

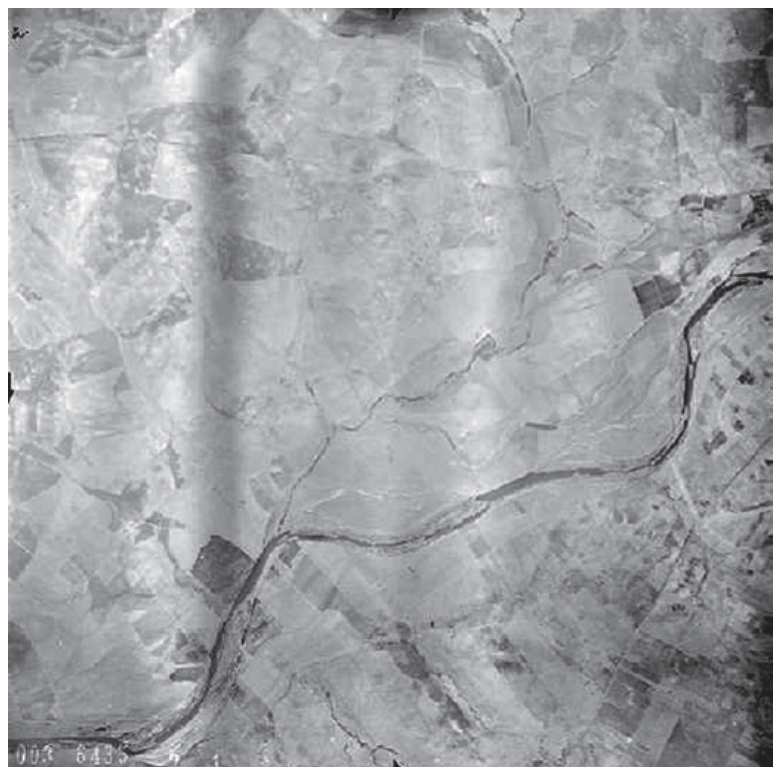


Figura 8. Fotograma de la pasada 6435. Frontera hispano lusa en Caya, Badajoz. Fuente CECAF



Figura 9. Parte de la hoja 775 del MTN, que comprende la zona de ejecución del PFC. La hoja corresponde a la serie alemana de 1941

«Ortofotografía histórica del núcleo urbano de Badajoz y su entorno» defendido en septiembre de 2011 en el Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, el cual comprende una superficie de 310 km² mostrándose la situación sobre el plano detalle de la Figura 9.

La escala media del vuelo para la zona de trabajo es de aproximadamente 1:43.000, por lo que cada fotograma de 23x23cm² ocupa casi 10x10 km². Cada hoja de Mapa

La repetición de los vuelos por defectos en el recubrimiento o huecos en la cobertura, provocaban alteraciones en la planificación y motivaron actividades de «relleno de huecos» que en algún caso se prolongaron hasta 1947, destinando a ello solo una pequeña unidad

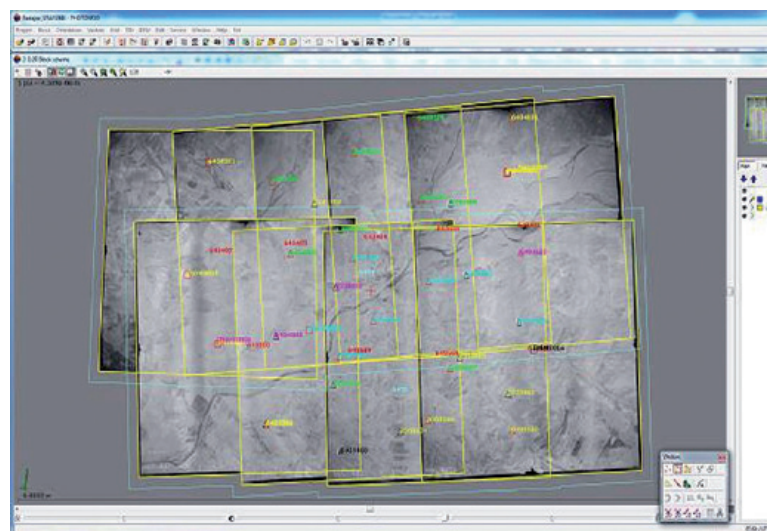


Figura 10. Bloque de trabajo en zona de Badajoz

Topográfico Nacional a escala 1:50.000 se compone por lo general de cuatro pasadas, con una media de entre siete y diez fotografías por pasada. Para nuestro ejemplo y, con el área limitada al núcleo urbano de Badajoz, se ha utilizado un total de dos pasadas, cada una de ellas compuesta por cinco fotogramas como se ilustra en la Figura 10. Los recubrimientos medios de la zona de trabajo han sido del 60% para el longitudinal y del 50% para el transversal. Este último valor tan amplio se debe a las dificultades en mantener la ruta constante con la instrumentación disponible de la época y a la falta de experiencia de la tripulación en la fijación de un eje de vuelo, pues era personal experto en misiones de bombardeo, pero no en la realización de vuelos con fines cartográficos. De ahí que, para evitar huecos en el recubrimiento y debido a que se volaban pasadas contiguas con posterioridad, se tomarán recubrimientos transversales tan amplios. La repetición de los vuelos por defectos en el recubrimiento o huecos en la cobertura, provocaban alteraciones en la planificación y motivaron actividades de «relleno de huecos» que en algún caso se prolongaron hasta 1947, destinando a ello solo una pequeña unidad [BOY88].

Uno de los aspectos que afecta a los fotogramas es la mala calidad radiométrica, con la aparición de franjas de distinta luminosidad y oscurecimiento de zonas marginales en contraposición a la zona central (efecto *vignetting*), lo cual hace suponer que no se utilizó filtro *antivignetting* o que no ajustó bien la velocidad [AME52]. Dichos fenómenos han sido estudiados y solventados en parte en una reciente publicación [RED10]. Con el objeto de asegurar pérdidas de información de carácter geométrico durante el proceso de conversión de una imagen a formato digital, la resolución del píxel debe adaptarse a la resolución de la fotografía, cumpliendo la teoría del muestreo. Teniendo en cuenta que el poder separador de la película utilizada es de 10 lp/mm, el tamaño de píxel de la imagen digitali-

zada debería de ser de 35 micras, aunque realmente en el presente estudio se ha digitalizado a un tamaño de píxel de 21 micras.

Para obtener el sistema fiducial se ha realizado un ajuste mínimo cuadrático de las intersecciones de rectas de las cuatro marcas opuestas para cada una de las dos pasadas, pues es imposible afirmar que se usase la misma cámara en pasadas contiguas. En la Ecuación 1 se indica la expresión utilizada para cada uno de los fotogramas de las dos pasadas.

$$\begin{pmatrix} m_{1-3} & -1 \\ m_{2-4} & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -m_{1-3} + Y \\ -m_{2-4} + Y \end{pmatrix}$$

Ecuación 1. Ajuste MMCC para cálculo sistema fiducial a través de mediatrices que unen las fiduciales opuestas

Como focal se ha empleado para este trabajo el valor nominal de 6", aunque el valor más adecuado hubiera sido la distancia focal equivalente [HEA62], no disponible entonces. Los valores de distorsión utilizados son los medios propuestos por Sewell en 1952 [SEW62] para la *Metrogon* tipo II. Cabe destacar que la *Metrogon* de la K-17 era la tipo I de distorsión no controlada por lo que podría presentar valores mayores a la tipo II en algunas unidades. Es de reseñar que en la Segunda Guerra Mundial la producción de esta lente llegó a 1 000 unidades mensuales [KIN47].

Todos los datos se han procesado y calculado con estación fotogramétrica *PhotoMod Lite*, *Photopol*, *Atlas* y *Aerosys*. Utilizando los parámetros de las cámaras ante-

riormente descritos se han obtenido unos valores de la orientación interna adecuados, tal y como se muestran en la Tabla 3. Para el ajuste del bloque se utilizaron puntos de apoyo extraídos de la cartografía más antigua, correspondiente a 1986 y a escala 1:10.000 proporcionada por la Junta de Extremadura. El ajuste de los modelos se realizó de varias formas con el objetivo de comprobar la calidad de los parámetros internos de las cámaras, así por ejemplo, se realizó un ajuste del bloque utilizando el método de autocalibración incluyendo parámetros adicionales con el objetivo de reducir los posibles errores sistemáticos, también se hizo un segundo cálculo sin incluir parámetros adicionales, un tercer ajuste únicamente de haces incluyendo la distancia principal y distorsiones descritas anteriormente y por último se realizó el ajuste de cada uno de los modelos de forma individual. Para este último caso se utilizaron un mínimo de seis puntos de apoyo por modelo y para el ajuste conjunto del bloque un total de ocho. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Para la generación de la ortofotografía se ha utilizado el modelo digital del terreno generado a partir de los datos proporcionados por el vuelo histórico de 1956, ya que a priori ofrecía mejores perspectivas técnicas en su generación y se encontraba temporalmente muy próximo al vuelo en cuestión, sin que en esta década hubiera habido una amplia transformación de la superficie del área.

Con el objeto de someter a la ortofoto a un control cartográfico se utilizó el test de control de calidad posicional «ASPRS» tomándose una muestra de 50 puntos distribui-

dos uniformemente sobre la zona de trabajo (orto) y sobre la fuente de mayor exactitud, en nuestro caso, la cartografía a escala 1:10.000. Los resultados obtenidos para dicho test han sido que la muestra de los cincuenta puntos presentan un error medio cuadrático para cada una de las componentes X, Y, Z respectivamente de ($S_x=3.109$ m; $S_y=3.680$ m; $S_z=4.242$ m), cumpliendo por tanto los criterios de calidad estándar ASPRS para cartografía de la Clase I, productos cartográficos a escala 1:20.000 [ARI02] [ATK01].

Orientación Interna	S_{xy} (micras)
Pasada 6434	13
Pasada 6445	17

Ajuste de los modelos	Error medio cuadrático	
	XY(m)	Z(m)
Autocalibración con parámetros adicionales	3.28	3.41
Autocalibración	3.28	3.39
Ajuste de haces	3.26	3.39
Modelos simples	2.28	2.96

Tabla 3. Resumen de resultados de orientación en el vuelo de 1946 para la hoja MTN 775, Badajoz. Escala 1:43.000 (Bascon A. y Pérez A. 2011)



Figura 11. Modelado del error planimétrico en la ortofotografía de 1946 con puntos de muestreo

5. CONCLUSIONES

El vuelo de 1945-46 o *Project Casey Jones*, debido a su antigüedad y amplia cobertura nacional, es el vuelo aerofotográfico de mayor interés histórico disponible en España y otros países europeos. Si bien su precisión métrica es menor que la de los vuelos de la década de los cincuenta debido a la cámara empleada y a su menor escala. Es la imagen aérea más antigua del país, de ahí su valor. Se ha clarificado algunos aspectos sobre el origen de este vuelo, así como de los materiales y técnicas empleadas, tan oscuras hasta este momento y que facilitarán su empleo futuro en estudios medioambientales, relativos al dominio público, ordenación del territorio, etc.

Respecto al uso que en la época se hizo, consideramos acertadas las conclusiones de Urteaga [URT00] en el sentido de que España no realizó por sí misma la actualización

El vuelo de 1945-46 o Project Casey Jones, debido a su antigüedad y amplia cobertura nacional, es el vuelo aerofotográfico de mayor interés histórico disponible en España y otros países europeos. Si bien su precisión métrica es menor que la de los vuelos de la década de los cincuenta debido a la cámara empleada y a su menor escala. Es la imagen aérea más antigua del país, de ahí su valor

del Mapa Topográfico Nacional (MTN50) a partir de este vuelo. Sí lo hizo el *Army Map Service* actualizando su serie M781, publicada entre 1956 y 1959, con el «nuevo» sistema de referencia ED50 (*European Datum 1950*). Fue entonces cuando España dispuso de las minutas estadounidenses para la actualización del MTN50 y de la Serie L del Servicio Geográfico del Ejército [URT00]. A pesar de ello existen copias del vuelo en algunas regiones procedentes de diversos archivos de organismos del franquismo y de sus herederos hoy (cronológicamente; *Instituto Nacional de Colonización INC*, *Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario IRYDA*, administraciones actuales de Agricultura en las CCAA), que han llegado a nuestros días, lo que evidencia un uso parcial de los mismos.

Creemos que la combinación de este vuelo con el de 1956 ofrece enormes posibilidades para establecer una serie histórica de la evolución territorial española y europea desde la Guerra Civil hasta nuestros días. La combinación de ambos puede convertirse en un instrumento fiel y riguroso para cualquier análisis geotemporal

Actualmente consideramos que se pueden obtener precisiones en la orientación externa con ciertas limitaciones de la escala de vuelo, el poder de resolución del material original y el estado de conservación de las imágenes.

A diferencia del vuelo de 1956, que se realizó iniciándose el despegue económico español, y pese a que transcurren sólo diez años entre ambos, el vuelo de 1945-46 muestra un territorio español más cercano a la España de la Segunda República, ya que su desarrollo se vio desaceelerado por la Guerra Civil y su posguerra. Se podría pensar también que entre los años treinta y principios de los cuarenta no existió un notable desarrollo por los condicionantes internacionales del crack del 29 y la Segunda Guerra Mundial.

Creemos que la combinación de este vuelo con el de 1956 ofrece enormes posibilidades para establecer una serie histórica de la evolución territorial española y europea desde la Guerra Civil hasta nuestros días. La combinación de ambos puede convertirse en un instrumento fiel y riguroso para cualquier análisis geotemporal. Ya sea ligado a delimitación del dominio público o privado, estado evolutivo de poblaciones vegetales, evolución urbana u otro fenómeno que necesite un registro cartográfico fidedigno de tres cuartos de siglo. Se ha arrojado algo de luz sobre los motivos y técnicas empleadas en un vuelo común a toda la Europa Occidental, que ayuden a futuras investigaciones apoyadas en estas fuentes de información históricas.

AGRADECIMIENTOS

En el presente artículo han colaborado el 305 *Air Mobility Wing History Office* del *Air Mobility Command AMC*, *United States Air Forces USAF*, *USAF-AMC (United States Air Forces- Air Mobility Command)* y el *USGS Optical Science Laboratory*.

REFERENCIAS

- [AER12] <http://www.aerostories.org/>
- [AME52] American Society of Photogrammetry. 1952. *Manual of Photogrammetry*. 2nd Edition. American Society of Photogrammetry. Washington DC: American Society of Photogrammetry.
- [ARI02] Ariza López, F.J. 2002. *Calidad en la producción cartográfica*. Editorial RAMA. Madrid. Capítulo 6.
- [ATK01] Atkinson Gordo, A.D. J.; García Balboa, J.L. Y Ariza López, F. J., 2001. «Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía.» *Ingegraf*, XIII

- Congreso internacional de Ingeniería Gráfica, Badajoz.
- [BAS11] Bascon A., F., y Pérez A., J. A. 2011. Ortofotografía histórica del núcleo urbano de Badajoz y su entorno. Proyecto fin de carrera, Centro Universitario de Mérida: Universidad de Extremadura. 2011. Compilation of ten K-17 cameras calibration reports. Autor's compilation.
- [BOY88] Boyd, Robert J. 1988. Project Casey Jones 1945-1946: Post-hostilities aerial mapping; Iceland, Europe, North Africa, June 1945-December 1946. Strategic Air Command.
- [CEC12] CECAF, Centro Cartográfico y Fotográfico, Ejército del Aire.
- [CRO55] Crouch, Leonard W. 1955. Performance of Air Force Mapping Cameras. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 21 (4): 515-518.
- [CZI08] Cziferszky, Andreas. 2008. Unlocking the time capsule of historic aerial photography to measure changes in Antarctic Peninsula glaciers. *Photogrammetric Record*, 23 (121): 51-68.
- [DEP55] Department of Defense of The United States Of America, y Spanish High General Staff. 1955. Procedural agreement nº 19 to the 26 september 1953 agreements mapping and aerial photography. Flite Document Nº 7501165. Junio 10. bulk.resource.org/courts.gov.
- [HEA62] Headquarters Department of the Army. 1962. Multiplex Mapping. Technical Manual. Washington: US Army. www.dtic.mil/.
- [KIN47] Kingslake, R. 1947. Recent Developments in Lenses for Aerial Photography. *Journal of the Optical Society of America* (37): 2475-2495.
- [LIV64] Livingston, Robert G. 1964. A History of Military Mapping Camera Development. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, (30): 97-110.
- [MCC44] McCurdy, P.G, Woodward, L.A, Davidson, J.I, y Wilson, R.M. 1944. Manual of photogrammetry. 1st Edition. American Society of Photogrammetry. Pitman Publishing Corporation.
- [MOY54] Moyle, Morton Peter, F. K Little, y R. E. (Robert E.) Cullen. 1954. A Review of Aircraft Photographic Systems: Progress Report. Technical Report. Engineering Research Institute. University of Michigan. <http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/6718>.
- [NAR12] NARA, National Archives and Records Administration, Cartographic Section Special Media Archives Services Division (NWCS) College Park, Maryland.
- [OFF47] Office of the Chief Historian, European Comand. 1947. The Second Year of the Occupation, 1946-1947. Occupation Forces in Europe Series. Frankfurt am Main, Germany: US Army.
- [QUI97] Quirós Linares., F. y Fernández García, F. 1997. El vuelo fotográfico de la «serie A». *Ería* (44): 190-198.
- [RED10] Redweik, P. et al. 2010. Triangulating the Past - Recovering Portugal's Aerial Images Repository. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 76 (9) (septiembre): 1007-1018.
- [SCH03] Scharfe, W. 2003. German Army Map of Spain 1: 50000: 1940-1944. En , 2475-2495. Durban, South Africa.
- [SEC57] Secretary of Air Force, USAF. 1957. Handbook operation and service instructions. Aircraft cameras: K-17C, K17D. Technical Manual. USAF.
- [SEW54] Sewell, Eldon D. 1954. Distortion-Planigon Versus Metrogon. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 20 (1): 54-59.
- [SNA97] Smithsonian National Air and Space Air Museum <http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19970538000>.
- [URT00] Urteaga, L. et. al. 2000. Los mapas de España del Army Map Service, 1941-1953. *Ería* (51): 31-44.
- [WIT08] Withe, Ian. 2008. From Bombs to Negatives. FlyPast, noviembre. [Forum.armyairforces.com/Project-CASEY-JONES-the-photomapping-of-postwar-Europe-Northern-reaches-and-N-Africa-m161738.aspx](http://forum.armyairforces.com/Project-CASEY-JONES-the-photomapping-of-postwar-Europe-Northern-reaches-and-N-Africa-m161738.aspx).
- [YEA08] Yeadon, Glen, y John Hawkins. 2008. The Nazi Hydra in America: Suppressed History of a Century. First Regular Edition. Progressive Press.

Sobre los autores

Juan Antonio Pérez Álvarez

Dr. Ingeniero en Geodesia y Cartografía, profesor titular de Escuelas Universitaria de la Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida.

Francisco Manuel Bascón Arroyo

Autor del proyecto fin de carrera «Ortofotografía histórica del núcleo urbano de Badajoz y su entorno», Ingeniero T. Forestal y en Topografía, director de la empresa Topoaérea.

Francisco Javier Crespo Pérez

Teniente Coronel del Ejército del Aire, Jefe del Grupo de Cartografía y Fotografía del CECAF. Piloto de Transporte Aéreo y Diplomado en Geodesia Militar.

María Cristina Charro Lobato

Arqueóloga, licenciada en Historia y en Antropología Social y Cultural. Investigadora predoctoral en el Departamento de Prehistoria de la Universidad Complutense de Madrid.



campus virtual

eGeoMapping
pone a su disposición
una **plataforma de formación**
donde encontrarás las últimas
novedades en cursos
relacionados con
las **Ciencias de la Tierra**

Cursos

- Ingeniería Geomática
- Ingeniería Civil
- Ordenación del Territorio
- Catastro y Propiedad
- Geoinformación
- Innovación social
- Biblioteconomía

Gracias a la formación e-learning se eliminan las barreras espacio-temporales de su aprendizaje
ESTUDIE DONDE Y CUANDO QUIERA
El equipo docente de eGeoMapping le espera

Sistema aerotransportado ligero de adquisición de imágenes digitales SAAPI

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 26-34
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

Roberto da Silva Ruy¹, Thiago Tiedtke dos Reis², Antonio María García Tommaselli³,
Mauricio Galo⁴, Julio Kyioshi Hasegawa⁵, Ricardo Antequera Regalado⁶

Resumen:

Con los desarrollos recientes en la tecnología de los sensores digitales ópticos, la utilización de cámaras matriciales digitales profesionales (de pequeño y medio formato) surgió como una alternativa para las aplicaciones fotogramétricas aéreas. Las razones principales son su flexibilidad y rendimiento, comparado con las cámaras analógicas y los sistemas digitales de gama alta (gran formato). Hay algunos modelos de cámaras con 50, 60 y 80 megapíxeles, que proporcionan una cobertura terrestre próxima a las cámaras fotogramétricas analógicas. En estas cámaras también se puede integrar el sistema GPS/INS, con montajes mecánicos especialmente diseñados y dispositivos electrónicos que puedan controlar todos los componentes del sistema de fotogrametría aérea. Varios sistemas diseñados a medida se han utilizado por todo el mundo con buenos resultados para aplicaciones cartográficas. Este artículo presenta los resultados obtenidos con el sistema SAAPI en dos grandes proyectos: cartografía digital del Estado de Bahía (600 000 km² con un GSD (Ground Sample Distance) de 80 cm) y el Estado de Santa Catarina (97 000 km² con a GSD de 39 cm), ambos en Brasil. Con el fin de evaluar la precisión geométrica de este sistema cartográfico se presentan algunos resultados obtenidos en estos proyectos con el sistema SAAPI, utilizando *Inpho-Match-T* en la generación del DTM. Los experimentos fueron realizados en el espacio objeto de coordenadas, considerando autocalibración en el ajuste de haces con georreferenciación directa. Además, las ortofotos, el DSM (*Digital Surface Model*) y DTM (*Digital Terrain Model*) fueron generados y analizados. Se verificó que se consiguió la precisión adecuada, alrededor de 1 a 1.5 GSD en los productos finales.

Abstract:

With the recent developments of digital optic sensors in technology, the use of professional digital frame cameras emerged as an alternative for aerial photogrammetric applications (small and medium shape). The main reasons are: their flexibility and cost effectiveness, when compared to film cameras and high-end digital systems (big shape). There are some models of cameras with 50, 60 and 80 megapixels, which provide ground coverage near to photogrammetric film cameras. These cameras can also be integrated with GPS/INS systems, with specially designed mechanic mounts and electronic devices that can control all components of the aerial mapping system. Several custom designed systems have been used worldwide with suitable results for mapping applications. This paper presents the results obtained with SAAPI system in two huge projects: the digital mapping of Bahia State (600 000 km² with a GSD of 80 cm) and Santa Catarina State (97 000 km² with a GSD of 39 cm), both in Brazil. In order to assess the geometric accuracy of this mapping system some results obtained with SAAPI in these projects are presented, using INPHO-MATCH-T for DTM generation. The experiments were carried out in the coordinates object space, considering self calibrating bundle adjustment with direct georeferencing. Moreover, orthophotos, DSM (Digital Surface Model) and DTM (Digital Terrain Model) products were generated and analysed. It was verified that suitable accuracy was achieved, around 1 to 1.5 GSD in the final products.

Palabras clave: Fotogrametría, cámara digital, calibración in situ, georreferenciación directa.

Keywords: *Photogrammetry, digital camera, in situ calibration, direct georeferencing.*

(1) Engemap Geoinformación, Gerente de producción.
roberto@engemap.com.br

(2) Engemap Geoinformación. tiedtke@engemap.com.br

(3) Universidad Estadual Paulista – FCT/UNESP, Departamento de Cartografía. tomaseli@fct.unesp.br

(4) Universidad Estadual Paulista – FCT/UNESP, Departamento de Cartografía. galo@fct.unesp.br

(5) Universidad Estadual Paulista – FCT/UNESP, Departamento de Cartografía.

hasegawa@fct.unesp.br

(6) Altais S.L, Director Gerente.

r.antequera@altais-sl.com

Recepción: 17-06-2013
Aprobación: 25-06-2013

1. INTRODUCCIÓN

El uso de cámaras digitales, de pequeño y medio formato, en aplicaciones fotogramétricas, es una tendencia muy extendida debido a los avances en la resolución de los sensores y en los componentes del *hardware* y *software*. Actualmente hay algunos modelos de cámaras con 50, 60 y 80 megapíxeles que ofrecen ventajas respecto a las cámaras de gran formato, debido a su flexibilidad y mejora en la relación coste- efectividad.

Comparado con las cámaras analógicas (230 x 230 mm) y las cámaras digitales de gran formato, las cámaras de medio y pequeño formato permiten coberturas terrestres más pequeñas, aunque esta situación está cambiando rápidamente, debido a los avances en la resolución del sensor. Por otro lado, la integración de estas cámaras permiten sistemas fotogramétricos con un coste muy atractivo.

Debido a su favorable relación coste-beneficio varias casas comerciales han diseñado sistemas que están siendo utilizados por todo el mundo con excelentes resultados en aplicaciones fotogramétricas, como DigiCam (IGI), DSS (*Digital Sensor System-Appplanix*) y SAAPI (*Lightweight Airborne Image Acquisition System- Engemap*). Previamente se implementaron otros sistemas de cámaras utilizados para aplicaciones fotogramétricas, como se muestra en [MOS00], [HAB02], [ROI06] y [PET09].

Dentro de este contexto, este artículo presenta los resultados geométricos obtenidos en bloques grandes de imágenes tomadas con el sistema SAAPI.

2. SISTEMA SAAPI

El sistema SAAPI fue desarrollado por la compañía Engemap, en Brasil, en colaboración con UNESP (Universidad Estadual Paulista) y FAPESP (Fundación de investigación del Estado de São Paulo). El sistema está compuesto por una plataforma de adquisición, unidades control y energía (Figura 1).

Los principales componentes del sistema son:

- Cámaras digitales profesionales RGB e Infra-rojo con la misma resolución radiométrica y espacial
- Sistema de georreferenciación directa (GPS/INS)
- Sistema de alojamiento para las cámaras
- Sistema autónomo preciso de sincronización de los datos, registro y almacenamiento en unidades SSD
- *Software* para la generación automática del plan de vuelo (SAAPI-PV), sistema de control y navegación en tiempo real (SAAPI-NC), sistema de post-procesamiento de datos de vuelo (SAAPI-PP)
- Diseño modular que permite una gran flexibilidad para la instalación del sistema en diferentes aeronaves, principalmente en plataformas aéreas pequeñas

Debido a su favorable relación coste-beneficio varias casas comerciales han diseñado sistemas que están siendo utilizados por todo el mundo con excelentes resultados en aplicaciones fotogramétricas, como DigiCam (IGI), DSS (*Digital Sensor System-Appplanix*) y SAAPI (*Lightweight Airborne Image Acquisition System- Engemap*)



Figura 1. Sistema SAAPI

Las especificaciones técnicas de las cámaras integradas en el sistema SAAPI se muestran en la Tabla 1.

Focal	50 mm (opcional 35mm)
Tamaño de Pixel	6 μ m
Resolución radiométrica	8/16 bit
Bandas espectrales (Dos cámaras)	RGB and IR
Tamaño de imagen	8176 x 6132 píxeles (50 megapíxeles) o 8956 x 6708 píxeles (60 megapíxeles)
Tamaño del sensor	49 x 36.9 mm
Ángulo de visión de la cámara. (longitudinal/ transversal)	46°/59°

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las cámaras del sistema SAAPI

Utilizando este sistema SA-API, la compañía Engemap ha llevado a cabo varios proyectos en los últimos años, cartografía urbana y territorial, líneas eléctricas, proyectos de carreteras, etc., lo que da lugar a diferentes escalas, desde 1:10.000 (GSD de 60-80 cm) a 1:1.000 (GSD de 10-15 cm).

3. ANTECEDENTES

En general, la calibración de la cámara se realiza antes de hacer el vuelo fotogramétrico, los IOP (*Interior Orientation Parameters*) son estimados por métodos de laboratorio o de campo. Estos parámetros son constreñidos en la triangulación en bloque por haces, siendo las coordenadas imagen corregidas a priori de errores sistemáticos (distorsión de la lente, refracción y menos común, deformación afín). Esta solución lleva a un modelo de ajuste de bloque simplificado, con menos parámetros a estimar, evitando la alta correlación entre los IOP estimados y los EOP (*Exterior Orientation Parameters*).

Los parámetros de orientación interior de la cámara (focal, coordenadas del punto principal, coeficientes de distorsión de las lentes, deformación afín) pueden ser estimados durante el ajuste del bloque por haces basado en las ecuaciones de colinealidad, incluyendo parámetros adicionales. Aún sabiendo que el uso de parámetros adicionales puede dar como resultado una alta correlación entre los parámetros, es importante considerar las diferentes condiciones ambientales entre el campo de calibración y el área de vuelo. Además, la operación y el manejo de la cámara durante los proyectos de vuelo pueden modificar la geometría interna de la cámara (dependiendo de la estabilidad de la óptica y del sensor de la cámara) y estos cambios pueden afectar a la reconstrucción del haz.

Generalmente, se utilizan modelos polinomiales como parámetros adicionales en el ajuste en bloque por haces. En esta aproximación la longitud focal y las coordenadas del punto principal son constreñidos con sus valores calibrados a priori y, los coeficientes del polinomio, pretenden absorber los errores sistemáticos residuales de distorsión de lentes y deformaciones. Este proceso en el que se utiliza este tipo de modelos se conoce con el nombre de autocalibración y fue desarrollado en los años setenta. Algunos ejemplos de grupos de parámetros adicionales son Ebner, Brown y modelos de Grun, [MUR84], [MIK01], [CLA98].

Es muy importante analizar el uso correcto de estos grupos de parámetros adicionales para las cámaras digitales, ya que errores que aparecían en las cámaras analógicas, como deformaciones o errores debidos a las medidas comparador, no aparecen en las cámaras digitales. Con el

fin de investigar este tema se han realizado algunos experimentos utilizando el software LPS (*Leica Photogrammetry Suite*), con imágenes tomadas por una cámara digital *Hasselblad* de 39 MP (megapíxeles). En los experimentos realizados se ha verificado que utilizando sólo distorsión radial de las lentes la reconstrucción del haz en el espacio objeto es mejor que utilizando modelos polinomiales (*Brown, Ebner, Bauer y Jacobsen*). Estos test detallados se presentan en [RUY08].

En este contexto, se presentan en este artículo dos bloques de imágenes tomadas con el sistema SA-API, cuyas cámaras son calibradas una vez al año en un campo de calibración terrestre situado en la Universidad UNESP, en Presidente Prudente. En estos proyectos se realizó un ajuste en bloque por haces con el software de *Inpho (Match-AT, Match-T)*. Para cada bloque de imágenes se calcularon los parámetros de calibración de la cámara en un pequeño sub-bloque (calibración *in situ*), con una distribución de puntos de control muy densa. Posteriormente, el bloque entero fue calculado con diferentes configuraciones de puntos de control. Además, se evaluó la precisión del DSM.

4. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

Para evaluar la precisión del sistema SA-API se han considerado dos grandes proyectos de obtención de modelo digital de elevaciones y ortofotografías en los Estados de Bahía y Santa Catarina (Brasil).

Las características de los proyectos son:

- Estado de Bahía:
 - Área: 600 000 km²
 - Resolución de la imagen (GSD): 80 cm
 - Productos: DSM y ortomosaico a escala 1:10.000
 - Precisiones (RMSE):
 - Altimetría: RMSE mejor que 1.8 m
 - Planimetría: mejor que 3.0 m
 - Características de la cámara:
 - Focal: 35 mm
 - Resolución: 50 megapíxeles
 - Recubrimientos:
 - Longitudinal: 60 %
 - Transversal: 30 %
- Estado de Santa Catarina:
 - Área: 97 000 km²
 - Resolución de la imagen (GSD): 40 cm
 - Productos: DSM, DTM, ortomosaico y restitución de hidrografía a escala 1:10.000
 - Precisiones (RMSE): Planimetría y altimetría

- mejor que 1.0 m
- Características de la cámara:
 - Focal: 50 mm
 - Resolución: 50 megapíxeles
- Recubrimientos:
 - Longitudinal: 60 %
 - Transversal: 30 %

4.1 Proyecto del Estado de Bahía

El proyecto del Estado de Bahía se está desarrollando en la compañía Engemap desde el año 2009. Está constituido por un vuelo aéreo fotogramétrico digital que cubre un área de 600 000 km². El bloque de imágenes utilizado en este estudio está situado en la zona sur-oeste del Estado de Bahía, en Brasil, tal como se muestra en la Figura 3. Está compuesto por 2 997 imágenes distribuidas en 48 pasadas. La altura de vuelo es de 4 670 m y el GSD de 80 cm.

También se presenta el análisis de la precisión del DTM, basado en el control de calidad realizado de forma independiente por la Agencia Oficial del Ejército Cartográfico en Brasil- DSG (División del Servicio Geográfico).

4.1.1 Ajuste del bloque por haces

El cálculo y análisis del bloque objeto de estudio se realizó con 127 puntos de control y 26 puntos de chequeo. Estos puntos fueron tomados mediante observaciones GPS L1/L2, estableciendo una base local. Las precisiones de los mismos fueron del orden de 1-3 cm. Los puntos de enlace se midieron automáticamente en el software *Match-AT* de *Inpho*, con un riguroso control de calidad. Se utilizaron los parámetros de orientación exterior GPS/INS (*Novatel SPAN-CPT*). Se utilizó el modelo de corrección *shift/drift* GPS/INS, para absorber los errores residuales sistemáticos en la posición de la cámara debido a las dimensiones del bloque y a la variación de la distancia entre el avión y la base terrestre de referencia.

Se ha seleccionado un sub-bloque con una distribución muy densa de puntos de control y se ha realizado una calibración in situ, estimando unos parámetros de orientación interior que posteriormente se han utilizado en el bloque completo. En la Figura 4 se puede observar el bloque completado con la distribución de puntos de control y de chequeo. La zona marcada en la esquina superior izquierda es el sub-bloque que se ha utilizado para la calibración *in situ*.

El sub-bloque de calibración in situ está formado por 344 imágenes y 154 puntos de control. El cálculo se realizó con el software *Match-AT* de *Inpho* (módulo *In-Block*). En la Tabla 2 se muestran los parámetros calculados y las desviaciones estándar estimadas.



Figura 2. Localización de los Estados de Bahía y Santa Catarina



Figura 3. Localización de la zona de estudio del Estado de Bahía

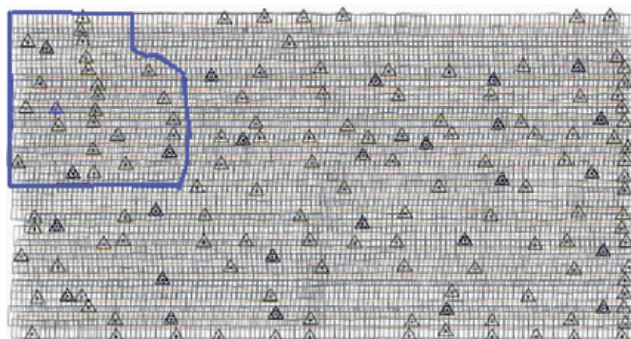


Figura 4. Bloque de imágenes con la distribución de puntos de control y puntos de chequeo. En azul, sub-bloque de calibración in situ

f (mm)	35.645 ± 0.003
x_0 (mm)	-0.065 ± 0.002
y_0 (mm)	0.176 ± 0.002
K_1 (mm ⁻²)	$-7.167 \times 10^{-05} \pm 2.710 \times 10^{-08}$
K_2 (mm ⁻⁴)	$5.958 \times 10^{-08} \pm 6.501 \times 10^{-11}$
K_3 (mm ⁻⁶)	$-8.315 \times 10^{-12} \pm 4.821 \times 10^{-14}$
P_1 (mm ⁻²)	$-5.729 \times 10^{-06} \pm 5.433 \times 10^{-08}$
P_2 (mm ⁻²)	$3.795 \times 10^{-07} \pm 5.511 \times 10^{-08}$

Tabla 2. Parámetros de orientación interna y desviaciones estándar

Una vez calculados los parámetros de orientación interna, se realizaron cuatro test con el bloque completo (2997 imágenes) y diferente número de puntos de control,

- A: Con todos los puntos de control (127 puntos)
- B: Con 79 puntos de control
- C: Con 41 puntos de control
- D: Con 18 puntos de control

En todos los tests se utilizaron los 26 puntos de chequeo para evaluar la precisión 3D en cada uno de ellos. Además, se emplearon los valores de los parámetros de orientación interior calculados en el sub-bloque. En la Tabla 3 se muestra el error medio cuadrático (RMSE) obtenido en los puntos de chequeo en cada test. En la última columna se presenta la precisión esperada (σ_e) en las coordenadas en el espacio objeto, utilizando las fórmulas de propagación de errores. Esta precisión teórica es calculada como una función del error en la medida del punto, de la definición del bloque y de la geometría de la adquisición, tal y como se define en [KRA93].

		Test				σ_e
		A	B	C	D	
RMSE (m) Puntos de Chequeo	X	0.405	0.414	0.432	0.521	1.290
	Y	0.428	0.434	0.445	0.465	1.290
	Z	0.753	0.774	0.714	0.812	2.420
RMSE (GSD) Puntos de Chequeo	X	0.5	0.5	0.5	0.6	1.6
	Y	0.5	0.5	0.6	0.6	1.6
	Z	0.9	1.0	1.0	1.0	3.0

Tabla 3. RMSE de los puntos de chequeo en el bloque de Bahía (2 997 imágenes)

Analizando la Tabla 3, comparando el test D (18 puntos de control) con el A (127 puntos de control), aunque se reduce considerablemente el número de puntos de control, la calidad de la solución en el espacio objeto todavía se mantiene. La precisión en la reconstrucción 3D estaba alrededor de 1/2 GSD en planimetría y un GSD en altimetría. Estos resultados indican que tanto el sistema de georreferenciación directa como la estrategia de calibración han trabajado correctamente.

Con el análisis de los test presentados en este trabajo se ha verificado que los parámetros de orientación interior calculados en el sub-bloque pueden aplicarse de forma satisfactoria a todo el bloque, reduciendo el número de puntos de control, siempre y cuando se use un sistema de georreferenciación directa adecuado. En este caso se ha verificado que para garantizar la calidad de la solución obtenida, es suficiente con que exista un punto de control a una distancia de 20 bases y 8 pasadas.

4.1.2 Análisis del DSM

El producto principal del proyecto del Estado de Bahía es el DSM, generado por correlación automática con el software *Match-T*, con un paso de malla de 5 metros. (Figura 5).

El control de calidad se ha realizado de forma independiente por la Agencia Oficial del Ejército Cartográfico en Brasil- DSG (División del Servicio Geográfico). Para este DSM con resolución de 5 m, las especificaciones del proyecto establecen que el 90% de los valores de altitud de los puntos de chequeo medidos en el producto final deben tener un error menor de 2.5 m y el RMS debe ser menor de 1.8 m.

Para el control de calidad la agencia DSG utilizó 12 712 puntos de chequeo. Estos puntos están distribuidos en la parte oeste del Estado de Bahía, cubriendo un área de 165

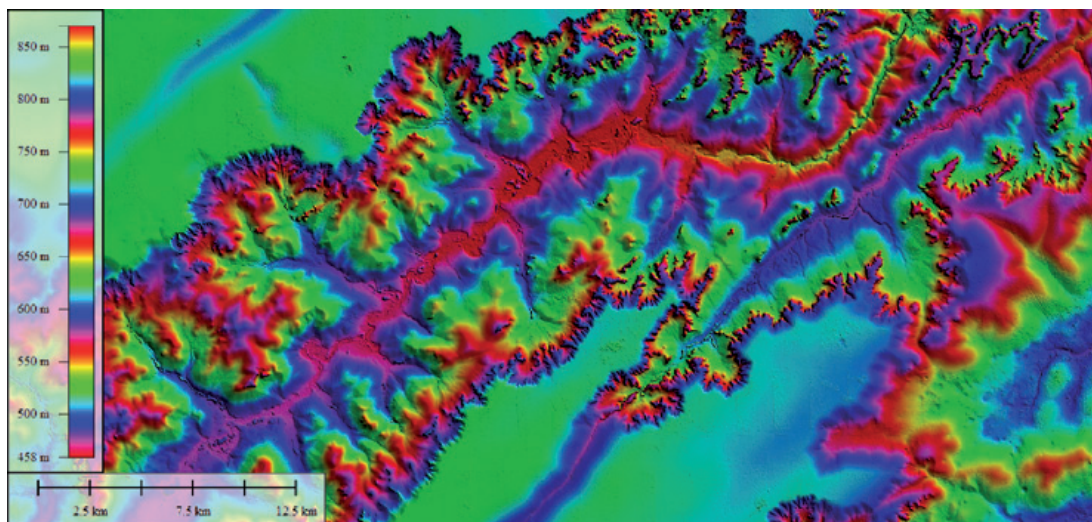


Figura 5. Ejemplo de DSM generado en el proyecto del Estado de Bahía

445 km² (759 mapas topográficos a escala 1:25.000). En la Figura 6 se muestra la distribución de estos puntos.

En el control del DSM se comparó la coordenada Z de los puntos de chequeo, obtenida de las observaciones de campo, con la Z medida en el DSM, obteniendo las diferencias. Un resumen de este análisis se muestra en la Tabla 4.

	Max. (m)	Min. (m)	Media (m)	RMSE (m)	RMSE (GSD)
Error	2.805	0.005	0.946	1.164	1.4

Tabla 4. Resultados del control de calidad del DSM

Considerando los resultados de la Tabla 4, se puede ver que la precisión del DSM es claramente compatible con las especificaciones del proyecto. El error máximo fue 2.8 m; en el 97% de los puntos analizados los errores fueron menores de 2.5 m y el RMSE fue alrededor de 1.1 m.

Los resultados del control de calidad del DSM indican que hay una pequeña tendencia en los valores (según la columna de media en la Tabla 4). Esta tendencia es principalmente positiva, ya que los valores de las alturas medidas en el DSM son mayores que las observadas en campo. Este desplazamiento en altura puede ser explicado por el efecto de suavizado del DSM, sobre todo en edificios, árboles y otros elementos que se encuentran sobre el terreno, ya que si los puntos de chequeo están cerca de edificios, árboles, etc., se observan diferencias de este tipo en el DSM.

4.2 Proyecto del Estado de Santa Catarina

Santa Catarina es un proyecto de fotogrametría digital (97 000 km²) en el que está trabajando la empresa Engemap desde el año 2010. El área de estudio está formada por un bloque de 5 723 imágenes distribuidas en 69 pasadas, cubriendo un área de 10 016 km². El bloque está situado en la parte sur del Estado, como se muestra en la Figura 7. La altura de vuelo es de 3 300 m, con un GSD de 40 cm.

En esta ocasión el control de calidad del DSM fue realizado por Engemap.

4.2.1 Ajuste del bloque por haces

Para el procesamiento y análisis de este bloque se utilizaron 328 puntos de control y 52 puntos de chequeo. Los puntos de enlace fueron medidos automáticamente con el software *Match-AT* de *Inpho*. Los parámetros de orientación exterior fueron proporcionados por GPS/INS (Novatel SPAN-CPT). Se utilizó un modelo de corrección shift/drift GPS/INS y un modelo polinomial de autocalibración para absorber los errores sistemáticos debidos a la dimensión del bloque.

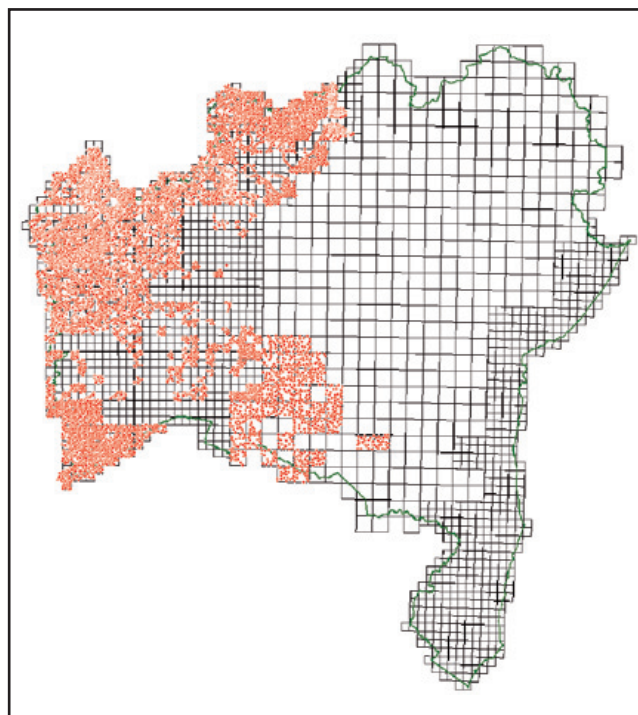


Figura 6. Distribución de puntos de chequeo (12.712 puntos) utilizados en el control de calidad del DSM



Figura 7. Área de estudio en el Estado de Santa Catarina

Se realizaron varios test:

- A: Con todos los puntos de control (328 puntos)
- B: Con 144 puntos de control (en el borde y parte central del bloque)
- C: Con 19 puntos de control
- D: Sin puntos de control (sólo con georreferenciación directa)

La cámara fue previamente calibrada en el campo de calibración situado en la ciudad de Assis, en julio de 2010, tres meses antes de realizarse el vuelo de Santa Catarina.

Sobre el campo de calibración se realizó un vuelo con cuatro pasadas en cruz con altitudes de vuelo diferentes. Los parámetros de orientación interior (Tabla 5) se calcularon en el software *Match-AT* de *Inpho* (módulo *In-Block*) con 28 imágenes y 13 puntos de control, manteniendo el centro perspectivo constreñido.

$f (mm)$	50.213 ± 0.010
$x_0 (mm)$	-0.017 ± 0.003
$y_0 (mm)$	0.012 ± 0.003
$K_1 (mm^{-2})$	$-3.001 \times 10^{-07} \pm 9.810 \times 10^{-08}$
$K_2 (mm^{-4})$	$-1.367 \times 10^{-09} \pm 2.421 \times 10^{-10}$
$K_3 (mm^{-6})$	$1.613 \times 10^{-12} \pm 1.803 \times 10^{-13}$
$P_1 (mm^{-2})$	$-1.368 \times 10^{-07} \pm 1.800 \times 10^{-07}$
$P_2 (mm^{-2})$	$-2.951 \times 10^{-07} \pm 1.531 \times 10^{-07}$

Tabla 5. Parámetros IOP y sus desviaciones estándar estimadas

En todos los test se utilizaron los 52 puntos de chequeo para analizar la calidad de la reconstrucción 3D en cada situación. La Tabla 6 muestra el RMSE, para cada test, en los puntos de chequeo y la precisión esperada (σ_e) en las coordenadas del espacio objeto.

		Test				σ_e
		A	B	C	D	
RMSE (m) Puntos de chequeo.	X	0,379	0,401	0,406	0,411	0,468
	Y	0,263	0,253	0,307	0,325	0,468
	Z	0,527	0,524	0,528	0,541	1,349
RMSE (GSD) Puntos de chequeo.	X	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2
	Y	0,7	0,6	0,8	0,8	1,2
	Z	1,3	1,3	1,3	1,4	3,4

Tabla 6. RMSE de los puntos de chequeo en el bloque de Santa Catarina

En la Tabla 6 se puede verificar que el número de puntos de control no afecta a la calidad de la reconstrucción 3D, debido a la calidad de la georreferenciación directa y a los parámetros de calibración de la cámara. La precisión en la reconstrucción 3D para todos los test fue en torno a un GSD en planimetría y poco más de un GSD en altimetría.

El test D se realizó sin puntos de control y los resultados fueron similares a los obtenidos en el test A con 328 puntos de control.

A partir del análisis de los test realizados, se verificó que los parámetros de orientación interior calculados pre-

viamente en el campo de calibración fueron suficientemente buenos para garantizar la calidad de la solución 3D. Fue necesario utilizar, en el ajuste del bloque, un modelo polinómico de autocalibración disponible en el software de *Inpho*, debido a las dimensiones del bloque y a los errores residuales sistemáticos.

4.2.2 Análisis del DSM

El DSM ha sido generado por correlación con el software *Match-T* de *Inpho*, con un paso de malla de 5 metros.

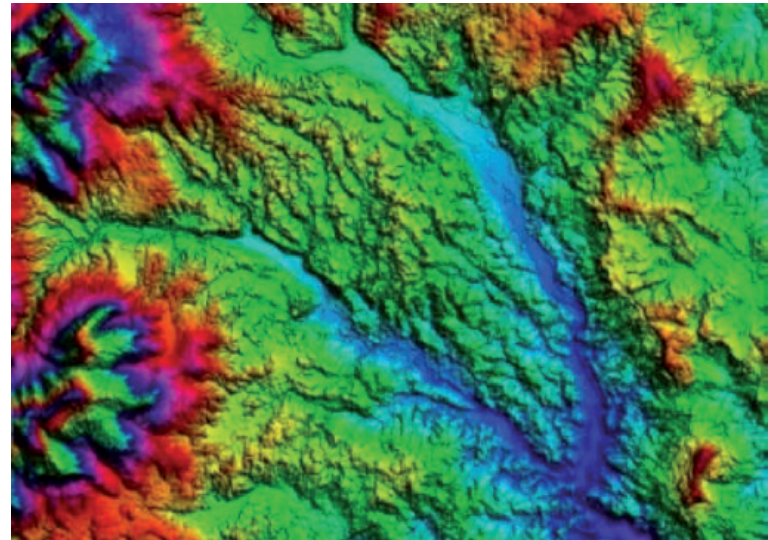


Figura 8. DSM generado en el proyecto de Santa Catarina

En el departamento de control de calidad de la compañía Engemap se ha realizado el control de calidad de los productos de Santa Catarina, bajo la inspección técnica del cliente. Las especificaciones técnicas respecto a la calidad del DSM y DTM del proyecto, indicaban que el RMSE tenía que ser mejor que 1.0 m. Se realizó el análisis de 49 puntos de chequeo distribuidos por todo el bloque, según se muestra en la Figura 7. Los resultados del análisis del DSM se presentan en la Tabla 7.

	Max. (m)	Min. (m)	Media (m)	RMSE (m)	RMSE (GSD)
Error	1.372	0.008	0.305	0.755	1.9

Tabla 7. Resultados del control de calidad del DSM

Analizando los resultados que se muestran en la Tabla 7 se puede ver que la precisión del DSM es compatible con las especificaciones del proyecto, igual que en el proyecto de Bahía. El error máximo es de 1.3 m y el RMS está en torno a 0.7 m.

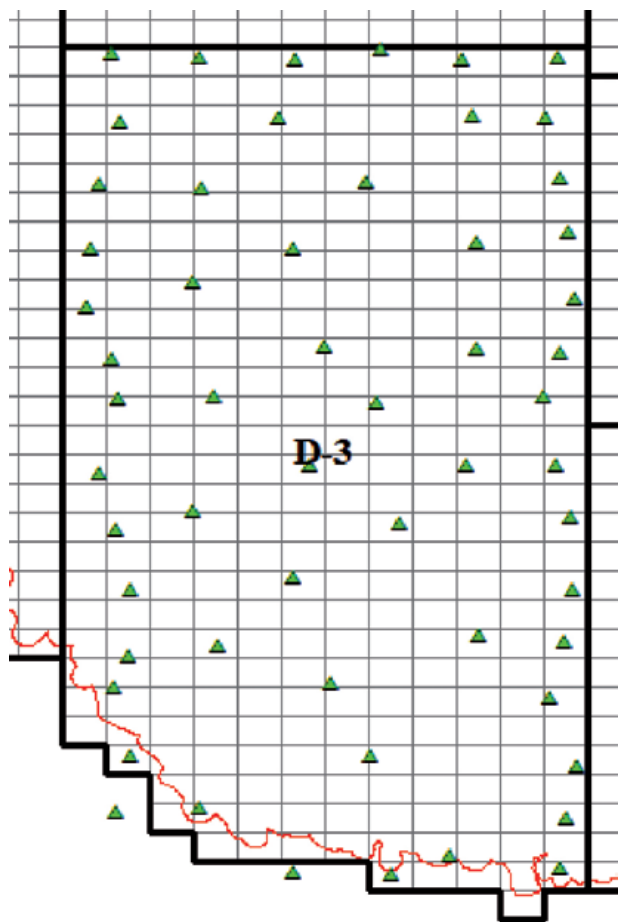


Figura 9. Distribución de los puntos de chequeo del control de calidad del DSM de Santa Catarina

5. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado unas pinceladas de la plataforma de adquisición de imágenes digitales para aplicaciones fotogramétricas, sistema SAAPI. Este sistema está compuesto por cámaras matriciales digitales de medio formato, en un diseño modular, ligero y de gran flexibilidad puede ser instalado en distintos tipos de aviones y helicópteros.

El *software* utilizado para el procesado de las imágenes del sistema SAAPI dispone de una aplicación que corrige las distorsiones de las lentes, como ocurre en las cámaras digitales tradicionales. Esto da lugar a una mayor facilidad de uso en los *software* de fotogrametría, ya que algunos *software* no poseen los modelos adecuados y rigurosos para el tratamiento de las distorsiones de las lentes.

Los resultados obtenidos en el ajuste del bloque por haces y el control de calidad de DSM muestra que el sis-

Este sistema está compuesto por cámaras matriciales digitales de medio formato, en un diseño modular, ligero y de gran flexibilidad puede ser instalado en distintos tipos de aviones y helicópteros

tema SAAPI puede ser utilizado para proyectos cartográficos, dentro de un riguroso flujo de trabajo fotogramétrico.

Los proyectos que se han presentado son dos grandes proyectos cartográficos en Brasil, desarrollados con este sistema de fotogrametría aérea modular. Los resultados del control de calidad de las imágenes y de los productos obtenidos, realizado de forma independiente por agencias oficiales de Cartografía brasileñas, muestra la potencialidad del sistema.

El coste de un sistema como el SAAPI, con cámaras profesionales, es próximo a la mitad de un sistema comercial de gran formato. Pero la mayor ventaja de un sistema de este tipo radica en la asistencia técnica facilitada, mayor facilidad para actualizar los componentes, las resoluciones, menor espacio necesario para la instalación en una aeronave. No es necesario una aeronave grande, lo que da lugar a un menor coste operacional en el vuelo. El sistema SAAPI es el primer sistema realizado en Brasil, lo que posibilita la asistencia técnica con personal especializado en Brasil.

Considerando los sistemas de pequeño formato frente a los de gran formato, podemos pensar que el sistema

Pero la mayor ventaja de un sistema de este tipo radica en la asistencia técnica facilitada, mayor facilidad para actualizar los componentes, las resoluciones, menor espacio necesario para la instalación en una aeronave. No es necesario una aeronave grande, lo que da lugar a un menor coste operacional en el vuelo

de gran formato proporciona mayor agilidad en el vuelo, ya que son necesarias menor número de imágenes y pasadas. Pero por otro lado, por el precio de un sistema de gran formato, se pueden adquirir varios sistemas de pequeño formato, lo que hace que la logística de vuelo sea más fácil, al tener más de una aeronave ejecutando el vuelo, como se hizo en el caso de los proyectos de Bahía y Santa Catarina.

La limitación con la que nos encontramos en las cámaras matriciales de pequeño formato es la resolución del sensor y el área de cobertura, que repercute en el aumento del número de imágenes y puntos de control. Hoy en día esta limitación no es muy problemática debido a la resolución de los sensores (50-60-80 megapíxeles), la integración GPS/INS y las altas prestaciones de los software fotogramétricos disponibles, como los utilizados en este proyecto (*Match-AT* y *Macht-T de Inpho*), que permitieron automatizar y procesar de forma rápida los productos fotogramétricos.

REFERENCIAS

- [CLA98] Clarke, T. A., and Fryer, J. G. The development of camera calibration methods and models. *The Photogrammetric Record*, 16 (91), pp. 51-66, 1998.
- [HAB02] Habib, A., M. Morgan, and Y. Lee, 2002. Bundle adjustment with self-calibration using straight lines, *Photogrammetric Record*, 17(100):635- 650.
- [KRA93] Kraus, K. and Waldhausl, P., 1993. *Photogrammetry–Fundamentals and Standard Processes*. DRUMMLER/BONN, v.1.
- [MIK01] Mikhail, E. M.; Bethel, J. S. Mcglone, J. C., 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. Inc. New York: John Wiley & Sons, 479p.
- [MOS00] Mostafa, M.M.R., and K.P. Schwarz, 2000. A Multi-Sensor System for Airborne Image Capture and Georeferencing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(12):1417-1423.
- [MUR84] Muray, S., Matsuoka, R., Okuda T., 1984. A study on Analytical Calibration for non Metric Camera and Accuracy of Three Dimensional Measurement. In: *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - XVth ISPRS Congress – Commission 5*, Rio de Janeiro, Vol.25, Part V pp. 570-579.
- [PET09] Petrie, G., 2009. Systematic Oblique Aerial Photography Using Multiple Digital Frame Camera, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(2):102-107.
- [ROI06] Roig, J., M. Wis, and I. Colomina, 2006. On the geometric potential of the NMC digital camera, *Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop – EuroCOW 2006*, 25-27 January, Castelldefels, Spain, unpaginated CDROM.
- [RUY08] Ruy, R. S., Tommaselli, A. M. G., Galo, M., Hasegawa, J. K., and Menossi, R. C., 2008. Fototriangulação com parâmetros adicionais para câmaras digitais: uma avaliação experimental. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, vol.14, n. 4, pp. 571-587.

Sobre los autores

Roberto da Silva Ruy

Doctor en Ciencias Cartográficas, Área de Adquisición, Análisis y Representación de Informaciones Espaciales, UNESP. Licenciado en Ingeniería Cartográfica. Gerente de producción en Engemap Geoinformación, Socio Director en Sensormap- Soluciones en Geoinformación Ltda.

Thiago Tiedtke dos Reis

Máster en Ciencias Cartográficas en UNESP. Licenciado en Ingeniería Cartográfica. Ingeniero e Investigador en Sensormap- Soluciones en Geoinformación Ltda. Ingeniero en Engemap Geoinformación.

Antonio María García Tommaselli

Doctor en Ingeniería Eléctrica. Máster en Ciencias Geodésicas. Licenciado en Ingeniería Cartográfica. Profesor Titular del Departamento de Cartografía en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UNESP.

Mauricio Galo

Doctor en Ingeniería Eléctrica. Máster en Ciencias Geodésicas. Licenciado en Ingeniería Cartográfica. Profesor Asistente del Departamento de Cartografía en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UNESP.

Julio Kyioshi Hasegawa

Doctor en Ingeniería Eléctrica. Máster en Ciencias Geodésicas. Licenciado en Ingeniería Cartográfica. Profesor Asistente del Departamento de Cartografía en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UNESP.

Ricardo Antequera Regalado

Ingeniero en Geodesia y Cartografía. Director Gerente de Altas Cartografía y Urbanismo S.L. Director del área de fotogrametría. Director General de Altas Geomática LTDA (Brasil).



Geolocaliza a los profesionales más cercaños a ti



⚙️ ¿Cómo funciona?



Desde nuestra web
Puedes buscar a cualquier profesional o darte de alta en sencillos pasos.



Desde tu terminal móvil
Busca e instala en tu terminal la app Professionals, es gratis.



Red GeoSocial Móvil
La Geolocalización al servicio de la Sociedad y sus Profesionales.

www.geoprofesionales.com



LAMBERT CONSULTORES
S.L.P.



Available on the iPhone
App Store



ANDROID

La hidrografía en la conservación del patrimonio subacuático

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 36-41
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

«No se puede proteger lo que se desconoce»

José Daniel González-Aller Lacalle¹, José Luis Sánchez de Lamadrid²

Resumen:

El Instituto Hidrográfico de la Marina (en adelante IHM) a través de la Armada, dependiente del Ministerio de Defensa, es el organismo oficial productor de la Cartografía Náutica de España. Desde el año 2009, se está participando en la protección del Patrimonio Subacuático en estrecha colaboración con el Ministerio de Cultura y las Administraciones Autonómicas.

En este artículo nos acercaremos con brevedad a la evolución de la acción de España en la protección de su Patrimonio Subacuático, y cómo con los medios y procedimientos empleados en los levantamientos hidrográficos que se llevan a cabo para la producción de la cartografía náutica, se puede contribuir a la búsqueda y localización de pecios de interés arqueológico. Para ilustrar la metodología y el empleo de los medios hidrográficos de la Armada, nos fijaremos en la primera actuación conjunta que tuvo lugar en aguas de la provincia de Cádiz en septiembre de 2010.

Abstract:

The Spanish Hydrographic Marine Office (Instituto Hidrográfico de la Marina), from now on IHM, through the Spanish Navy, under the Ministry of Defense, is the official organization producer of Spanish Nautical Cartography. Since 2009 it has been participating in Subaquatic Heritage protection, in close collaboration with the Ministry of Culture and Regional Administrations.

In this article we will briefly outline, the evolution of Spanish work in Subaquatic Heritage protection, and how, with means and techniques used in hydrographic surveys carried out to produce nautical charts, they may contribute to the search and location of sunken vessels with an archeological value. We will be looking upon the first joint action off the coast of Cádiz in September 2010, to illustrate the methodology and operation of hydrographic techniques of Navy resources.

Palabras clave: Hidrografía, pecio, búsqueda, levantamiento hidrográfico, sondador multihaz, sonar de barrido lateral.

Keywords: *Hidrography, wreck, search, survey, multibeam echosounder, side scan sonar.*

(1) Instituto Hidrográfico de la Marina
daniga@fn.mde.es

(2) Instituto Hidrográfico de la Marina
jsanjaq@fn.mde.es

Recepción: 21-06-2013
Aprobación: 27-06-2013

1. EL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO SUBACUÁTICO

Comencemos por definir Patrimonio Cultural Subacuático Español: aquel que, cumpliendo los requisitos contemplados en la legislación vigente, se encuentra en las aguas sobre las que España ejerce soberanía y jurisdicción, extendiéndose sobre aquel que, de acuerdo con las leyes internacionales, se pudiera ejercer el derecho de reclamación.

Se trata de un patrimonio muy expuesto a los múltiples agentes naturales y antrópicos, sobre todo derivados del incremento de las grandes obras de infraestructuras en la zona litoral. Ahora bien, como no puede protegerse aquello que se desconoce, es fundamental establecer los mecanismos y procedimientos que nos permitan su localización e identificación, para posteriormente poder conservarlo y protegerlo. [PSE]

El primer paso para conocer el patrimonio de nuestras costas es llevar a cabo un inventario y catalogación de todas las fuentes disponibles. El instrumento más adecuado

es a través de la elaboración de una Carta Arqueológica. España, por fortuna, cuenta con una enorme base documental, donde destacan los Archivos de la Armada, Simancas y de Indias. Se estima en más de tres mil los posibles pecios o restos de naufragios que pueden estar sobre el fondo marino español.

2. EL PLAN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO SUBACUÁTICO ESPAÑOL

En los últimos años la sociedad española e internacional ha aumentado su sensibilidad en estos temas, sobre todo interesados por los casos de expolios y extracciones con fines comerciales. En 2007, el lamentable acontecimiento del Odyssey sobre la fragata española Nuestra Señora de la Mercedes hundida en 1794 frente al cabo de San Vicente, constituyó con seguridad un punto de partida para las iniciativas que se tomarían en el futuro.

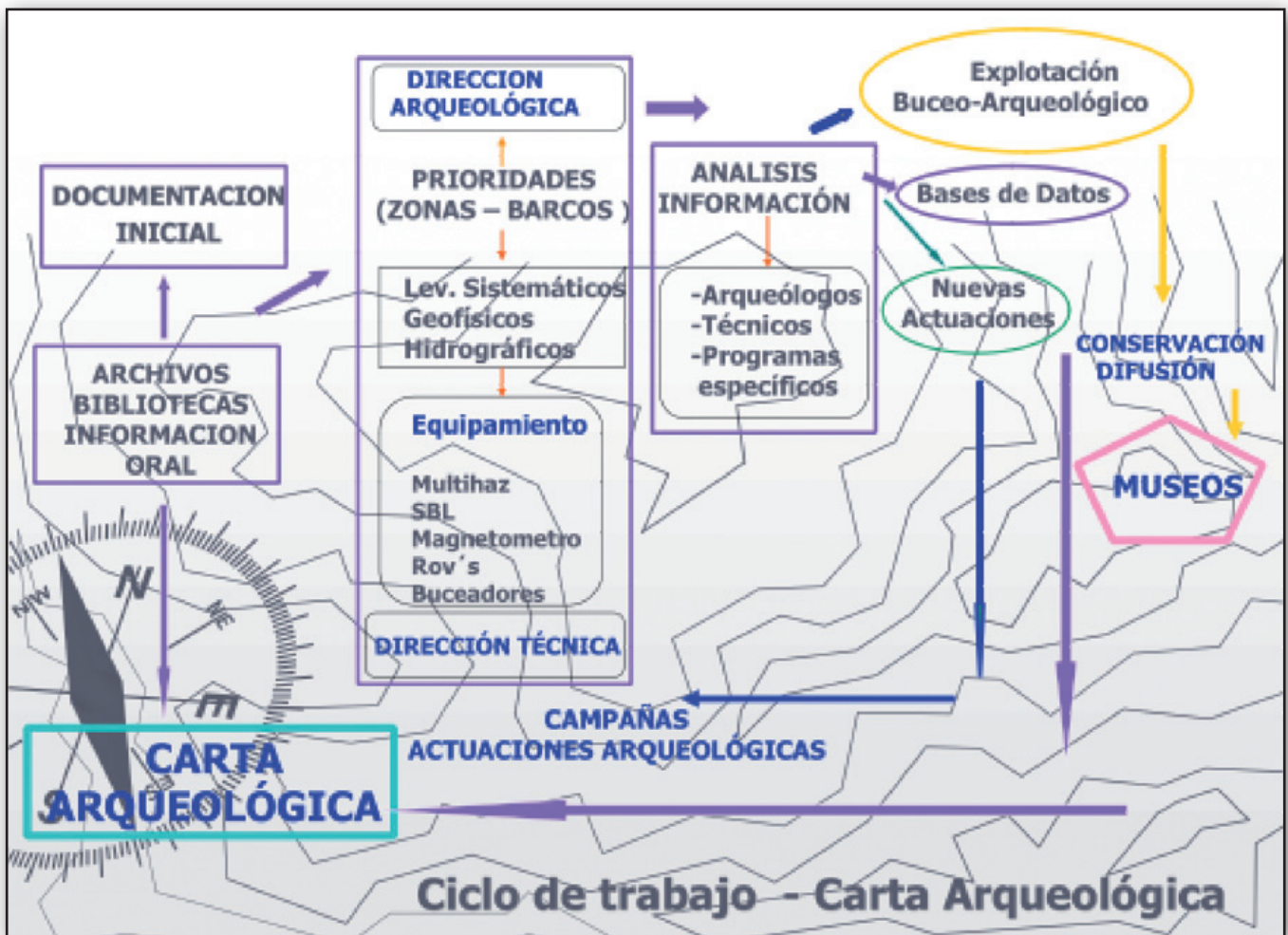


Figura 1. Ciclo de trabajo de la Carta Arqueológica

La comunidad internacional, a través de una convención de la UNESCO del 2001, plasmó esta preocupación exhortando a los estados miembros de la necesidad de actuar para proteger el patrimonio subacuático de la humanidad. En 2005 España ratificó esta convención.

Será en el año 2007, cuando la necesaria coordinación y unificación de esfuerzos entre las distintas administraciones del Estado y Autonómicas se pondrá en marcha, su herramienta será el Plan Nacional para la Protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático (PNPPAS), que impulsado por el Ministerio de Cultura verá la luz el 30 de noviembre de 2007 con su aprobación por el Consejo de Ministros.

El principal objetivo del PNPPAS es la concienciación de todos los organismos implicados, así como la adopción de medidas concretas que permitan la coordinación para la protección, conservación y difusión del patrimonio español sumergido. Su ámbito de actuación se plantea desde una perspectiva a nivel nacional, que determinará las líneas de acción entre la Administración General del Estado y las Administraciones Autonómicas para la protección de los pecios en aguas de jurisdicción española. Por otra parte, a nivel internacional el Plan establece las acciones necesarias para proteger los intereses y derechos sobre los pecios españoles hundidos en aguas de terceros países o internacionales. Consecuencia directa del Plan será evitar las actividades expoliadoras ilegales y las que legalmente autorizadas causen un deterioro en la conservación.

3. EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE DEFENSA Y CULTURA

Una de las acciones derivadas del PNPPAS fue la firma en Cartagena el 9 de julio de 2009, del Protocolo General entre los Ministerios de Defensa y Cultura sobre colaboración y coordinación en el ámbito de la protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

En el convenio se determinan los principales motivos por los que el Ministerio de Defensa, a través de la Armada, tiene un papel fundamental en el éxito del desarrollo del PNPPAS, siendo los siguientes:

- La Ley Orgánica 5/2005 de la Defensa Nacional y el RD 787/2007 que desarrolla su estructura operativa, asigna a las Fuerzas Armadas la vigilancia y seguridad en los espacios de soberanía, en la alta mar o en otros lugares donde resulta lícito de acuerdo al derecho internacional, y el apoyo a la acción del estado en dichos espacios. En particular la Armada, junto con las

Administraciones competentes, es responsable de la vigilancia y seguridad del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

- Los Archivos Históricos de la Armada contienen información imprescindible, tanto para llevar a cabo acciones en aguas de nuestra soberanía, como para defender nuestros pecios en aguas de terceros países.
- Los pecios de Buques de Estado son de titularidad exclusivamente estatal, por lo que previa coordinación con el Ministerio de Cultura se podrán llevar a cabo actuaciones sobre dichos pecios.
- La Armada dispone de personal cualificado, medios y experiencia para colaborar en el cumplimiento de los objetivos del Plan.

El convenio establece las aportaciones de las partes, recayendo en la Armada el compromiso de aportar los medios materiales y humanos necesarios para las campañas de búsqueda e identificación, los que permitan la elaboración y mantenimiento de una Carta de pecios y restos de interés histórico y arqueológico, así como los fondos documentales de que dispone.

Para el desarrollo de este convenio, el Almirante Jefe de Estado Mayor de la Armada (AJEMA) ha designado al Almirante de Acción Marítima (ALMART) como coordinador de las actividades que lleve a cabo la Armada. Se determina que los medios más adecuados de la Armada son los pertenecientes a la Unidad de Medidas Contraminas (MCM), al Centro de Buceo de la Armada (CBA) y al Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM).

4. LA CAMPAÑA DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO SUBACUÁTICO «CÁDIZ 2010»

La primera actuación derivada del Protocolo fue una campaña en aguas de la provincia de Cádiz entre el 8 de septiembre y el 7 de octubre de 2010. Su objetivo fue realizar la búsqueda, localización e identificación, cuando sea posible, de naufragios en la plataforma continental del Golfo de Cádiz hasta los 200 metros de profundidad, entre el paralelo de Tarifa y la desembocadura del río Guadalquivir. La Campaña se enmarcó dentro del Proyecto de Intervención Arqueológica del Centro de Arqueología Subacuática de la Junta de Andalucía (CAS).

Para el planeamiento de una campaña de estas características es fundamental contar con una base documen-

tal que sirva para la definición de las zonas de muestreo y la prioridad en la asignación de los trabajos. El litoral gaditano es una de las zonas más ricas de España en el número de naufragios documentados. Se ha dispuesto de la información de «yacimientos y restos» aportados por el CAS y la Armada, esta última procedente de la cartografía del IHM. Sus fuentes son los buques hidrográficos, Comandancias Navales, otras dependencias de la Armada y organismos externos. Una vez analizada la documentación, se asigna la misión y las zonas de trabajo teniendo en cuenta las características y equipamiento de las unidades.

Una vez seleccionadas y priorizadas las zonas de búsqueda, para optimizar los trabajos deben proyectarse líneas sistemáticas para la navegación que permitan garantizar un barrido completo del fondo marino.

Los medios de que dispone la Armada son los cazaminas, un buque de apoyo a buceadores y los barcos hidrográficos. De estos últimos, para trabajos en aguas someras de hasta los 100 metros de profundidad, las Lanchas Hidrográficas Transportables (LHT) son las más eficientes, ya que su misión es la de efectuar los levantamientos hidrográficos para la cartografía náutica oficial donde la seguridad en la navegación es crítica. [NLH]

El equipamiento idóneo son sistemas de detección acústica. Los sondadores multihaz y sonares de barrido lateral (SBL) permiten visionar en tiempo real la presencia de una obstrucción, resto o pecio que represente una alteración significativa de la profundidad o la naturaleza del fondo que les rodea. Los de alta resolución detectan objetos de un tamaño menor de medio metro, fundamentales para localizar cañones, anclas o restos que nos indiquen la proximidad de un pecio cercano. Para localizar restos metálicos enterrados hay que emplear un magnetómetro y perfilador de fondo con capacidad de penetrar el lecho marino.

Respecto a las condiciones medioambientales, además de las derivadas del



Figura 2. Campaña pecios Cadiz 2012

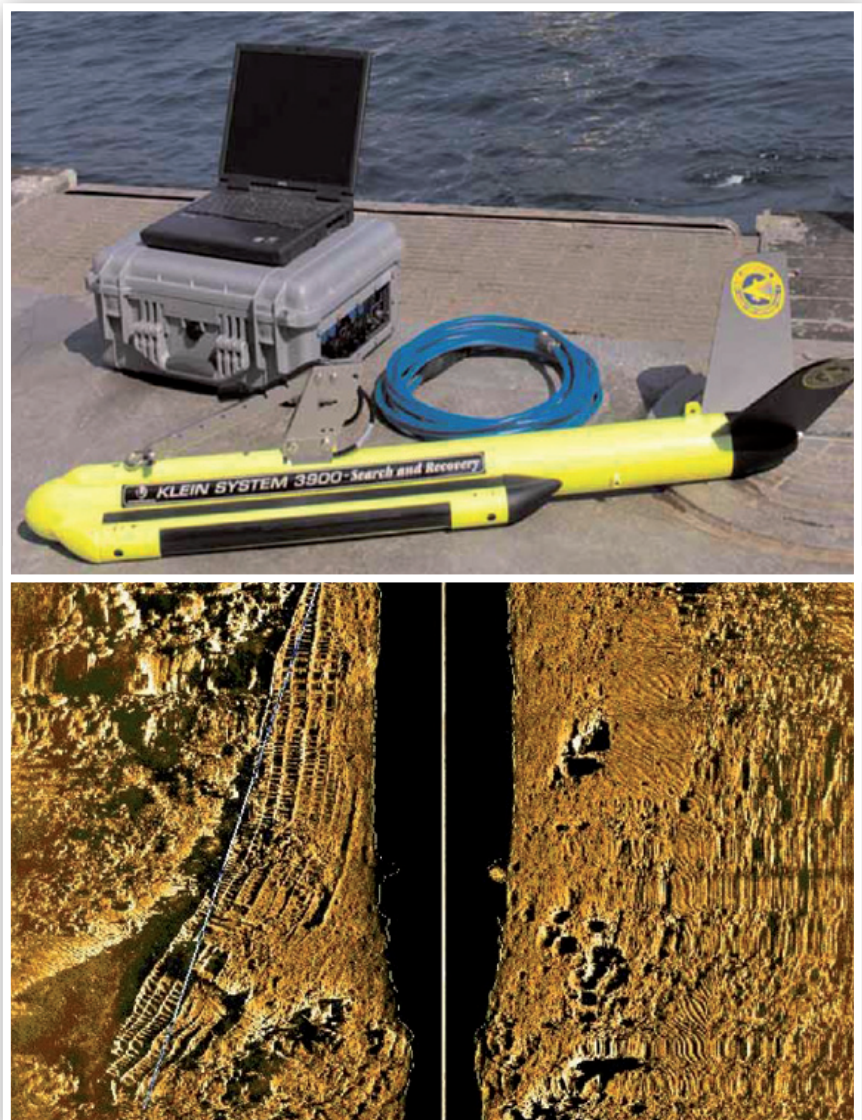


Figura 3. Componentes e imagen de un pecio del SBL Klein 3900



Figura 4. Vehículo submarino guiado Pluto Plus para la identificación de objetos submarinos

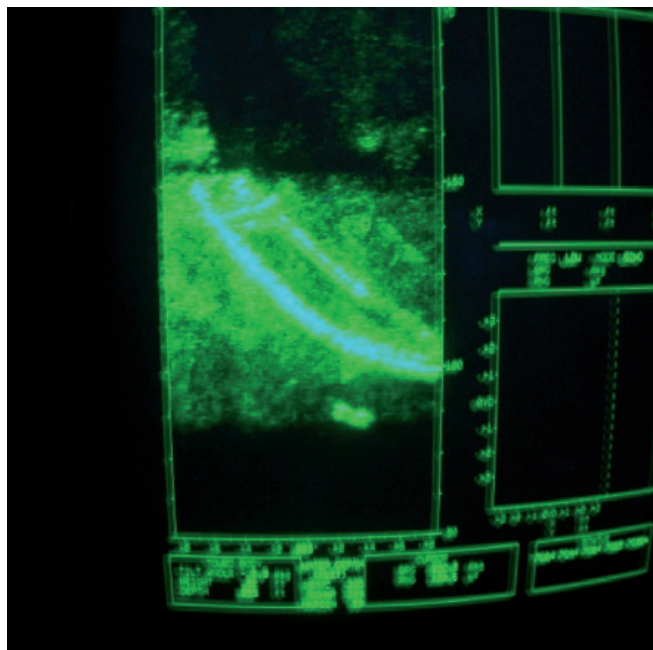


Figura 5. Imagen de pecio con sónar

viento y oleaje, en estas campañas hay otros factores de gran importancia. Entre ellos, la turbidez del agua y las corrientes de la zona del proyecto pueden ser muy limitantes en los trabajos con buceadores, equipos remolcados y vehículos de operación remota (rov). En esta ocasión la turbidez está directamente relacionada con la cantidad de sedimento aportado por los ríos Guadalquivir y Guadalete y producen un efecto directo sobre la visibilidad bajo el agua, que en la mayoría de los días de campaña no superó el metro. La visibilidad está condicionada por las fuertes lluvias que producen avenidas de sedimentos, las corrientes, el viento y estado de la mar (sobre todo el mar de fondo). Las corrientes dependen de la onda de marea, las condiciones meteorológicas, y de las diferencias de densidad del agua del mar en distintas zonas. En el caso de la costa gaditana, pueden llegar a alcanzar más de 3,5 nudos de intensidad en la zona de Tarifa.

Para el análisis detallado e interpretación de las imágenes del SBL es necesario disponer del adecuado software de procesado, y la acción conjunta de personal técnico arqueólogo e hidrógrafo.

Para la identificación de los con-

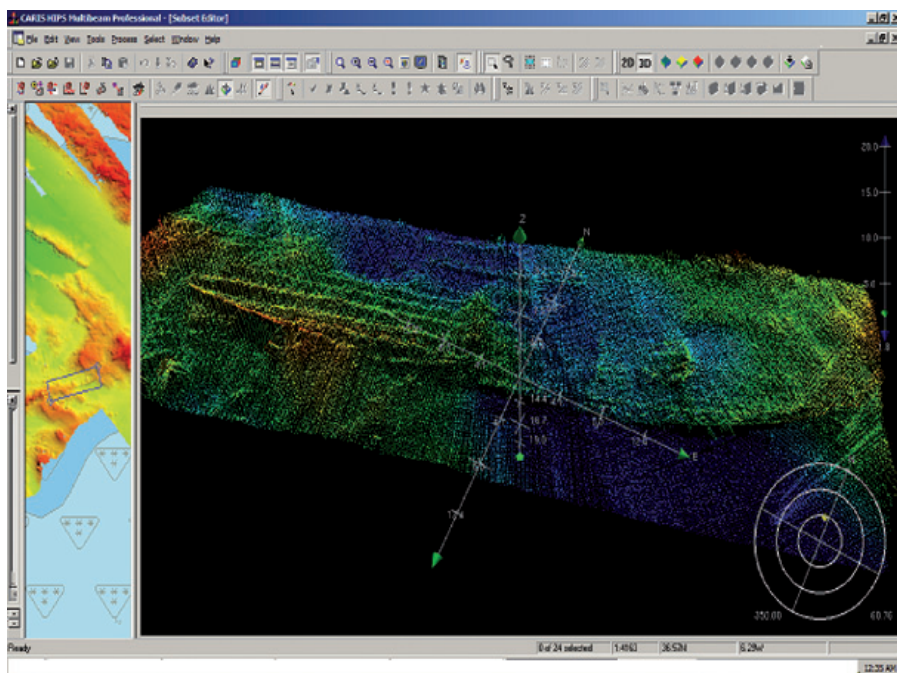


Figura 5. Imagen de pecio con multihaz

tactos detectados, como complemento a los buceadores, se empleó el vehículo submarino Pluto Plus, que es operado por control remoto desde el buque. Puede operar hasta profundidades de 200 metros. Dispone de cámara de TV, cuyas imágenes pueden ser grabadas a bordo. No dispone de brazos para la manipulación de objetos. La tarea de identificación es la más complicada ya que requiere de unas condiciones medioambientales muy favorables.

Los resultados de la campaña fueron satisfactorios y se ajustaron a las expectativas planteadas. En cifras, la participación de la Armada y los resultados preliminares son los siguientes:

La LHT sondó un total de 343.29 millas lineales que corresponden a 16.55 millas cuadradas (30.64 km²). Los cazaminas efectuaron un total de 45 intervenciones. Los buceadores del CAS y MCM llevaron a cabo un total de 12 operaciones hasta una profundidad de 45 metros. De los contactos localizados, 12 fueron clasificados como pecios, ya que su forma y dimensiones corresponden con las de posibles barcos, o restos de ellos. Clasificados 134 como restos de posible interés. Los criterios de selección inicial se basaron en la presencia de formas artificiales y en la correlación del tamaño de los objetos detectados con los buscados.

Durante el análisis detallado de los datos adquiridos no se descarta que se incorporen nuevos posibles restos. Los datos obtenidos son tratados como material clasificado reservado, y una vez evaluados pasarán a formar parte de la Carta Arqueológica.

5. CONCLUSIONES

Con metodología, medios y una buena dosis de paciencia por parte de las autoridades, no me cabe la menor duda de que podremos proteger y conservar nuestros buques del pasado en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Este ambicioso plan no sería posible sin la dedicación de las personas que trabajan en la Sección de Hidrografía y Cartografía del IHM, así como de las dotaciones de los Buques Hidrográficos y resto de unidades de la Armada.

REFERENCIAS

- [PSE] Libro verde del Plan Nacional de Protección del Patrimonio Subacuático Español.
 [NLH] Normas para los levantamientos hidrográficos del IHM.

Sobre los autores

José Daniel González-Aller Lacalle

Oficial de la Armada por la Escuela Naval Militar. Capitán de Fragata, Especialista en Hidrografía por la Escuela de Hidrografía de la Armada, Diplomado como Ingeniero Hidrógrafo por el Real Instituto y Observatorio de la Armada y la Universidad de Cádiz. Actualmente ejerce como Jefe del Área de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina. Es el responsable de la planificación y coordinación de las campañas hidrográficas y científicas del IHM. Ejerció la jefatura de la campaña «Pecios Cádiz 2010». Fue Jefe de Proyectos y Trabajos de los Buques Hidrográficos Antares, Rigel y Malaspina y Comandante del Antares y Malaspina. Pertenece a numerosos grupos de trabajo de carácter técnico con otros organismos del Estado relacionados con la adquisición de datos del fondo marino. Ha sido Jefe del Área de Navegación y del departamento de Fisiografía del IHM. Profesor de número de la Escuela de Hidrografía durante 9 años en los que impartió las asignaturas de Hidrografía, Oceanografía, Navegación y Derecho Marítimo Internacional.

José Luis Sánchez de Lamadrid y Jaques

Oficial de la Armada por la Escuela Naval Militar. Capitán de Corbeta, Especialista en Hidrografía por la Escuela de Hidrografía de la Armada, Diplomado como Ingeniero Hidrógrafo por la Universidad de Universidad de New Brunswick (M. Eng). Actualmente ejerce como Jefe de Procesado y Validación en el Área de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina. Es el responsable del manejo, control y validación del dato de batimetría y coordinador de las batimetrías externas. En su trayectoria en la Hidrografía ha sido Jefe de Hidrografía en el Tofiño, del que también ha sido Jefe de Proyectos y Trabajos, Comandante del Antares y Jefe del Núcleo de Lanchas Hidrográficas Transportables. En la actualidad compagina su trabajo en el Área de Hidrografía con la participación en campañas hidrográficas y multidisciplinarias así como las clases en la Escuela de Hidrografía donde imparte la asignatura de Sondadores Multihaz. LTDA (Brasil).

MAPPING

MAPPING INTERACTIVO



EN NUESTRA PAGINA WEB PODRÁ ENCONTRAR:

Noticias del sector

Artículos **técnicos**

Números anteriores de la **Revista Mapping**

Fotografía y noticias curiosas en **“Por fin es viernes”**

Y mucho **más**.

Conéctese a nuestros canales de las Redes Sociales



Facebook

<https://www.facebook.com/mapping.interactivo>



LinkedIn

<https://www.linkedin.com/nhome/>



Twitter

<https://twitter.com/MappingInteract>



Youtube

<http://www.youtube.com/>

MAPPING INTERACTIVO



91 006 72 23



655 95 98 69 / 638 71 89 34



C/ Jerez de los Caballeros 2. Ofi. 8A
Madrid 28042
España



www.mappinginteractivo.es

Aplicación SIG en riesgos naturales: calibración del modelo de cálculo del riesgo sísmico de Puerto Príncipe (Haití)

Yolanda Torres¹, Sergio Molina², Belén Benito³

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 44-55
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

Resumen

En este artículo se presenta un modelo de cálculo de riesgo sísmico para Puerto Príncipe, calibrado a partir de los daños causados por el terremoto de 2010. Se ha implementado un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de apoyo. En el estudio se han definido 8 tipologías constructivas representativas de los edificios de la ciudad a partir de una base de datos proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas de Haití y se les han asignado las funciones de daño que mejor predicen su comportamiento ante terremotos. Se han obtenido, asimismo, los modelos de atenuación más apropiados para el área de estudio y los valores de Vs30, resultado de una microzonación en la ciudad, que mejor representan el tipo de suelo bajo los edificios. El modelo de cálculo obtenido se utilizará en la fase de estimación del riesgo sísmico en Puerto Príncipe del proyecto de cooperación SISMO-HAITI. Con los resultados que se obtengan, se podrán definir los planes de emergencia ante este riesgo, con el fin último de minimizar los efectos adversos de una catástrofe sísmica en el futuro.

Abstract

This paper presents a seismic risk measurement model for Port au Prince, calibrated with data on the damage caused by the 2010 earthquake. A Geographic Information System (GIS) has been implemented as supportive tool. In the study, eight model building types have been defined on the basis of a building database provided by the Haitian Ministry of Public Works, and they have been assigned with the damage function that better predicts their performance before earthquakes. Besides, the most suitable diminish prediction equations for the study area have been obtained, as well as the Vs30 values, result of a microzonation carried out in the city, that better represent the soil type under the buildings. The calculation model obtained in this study will be applied in the seismic risk assessment of Port au Prince, from the SISMO-HAITI cooperative project. Its results would be used when defining the emergency plans against this kind of natural risks, whose ultimate goal is the reduction of the negative consequences of future earthquakes.

Palabras clave: Haití, escenario de daños, riesgo sísmico, SIG, vulnerabilidad sísmica.

Keywords: Haiti, damage scenario, seismic risk, GIS, seismic vulnerability.

(1) Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía
y.torres@upm.es

(2) Universidad de Alicante, Facultad de Ciencias
sergio.molinap@gmail.com

(3) Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía
mariabelen.benito@upm.es

Recepción: 03/06/2012
Aprobación: 31/07/2012

1. INTRODUCCIÓN

En la evaluación del impacto de los riesgos naturales, la información geográfica juega un papel determinante en la descripción de los factores que intervienen, en la ejecución de cálculos y en la toma de decisiones. Los sistemas de información geográfica (SIG) son la mejor herramienta para su gestión (p.ej. [RUK11]; [CHR10]) dadas las facilidades que proporcionan para integrar y homogeneizar todos los datos a utilizar en los estudios, para realizar los cálculos y para representar y analizar los resultados. Asimismo, un SIG y su publicación en la web son un canal muy adecuado para la difusión de los resultados de este tipo de estudios, pues facilitan su interpretación a usuarios interesados no expertos en la materia.

En este sentido, el trabajo que se presenta tiene como objetivo realizar una calibración de un modelo de cálculo de riesgo sísmico en Puerto Príncipe con apoyo de un SIG. Está enmarcado dentro del proyecto de cooperación SISMO-HAITÍ que el Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica de la Universidad Politécnica de Madrid, junto con un equipo multidisciplinar de otras universidades españolas y organismos públicos de Haití, inició tras el devastador terremoto que arrasó la ciudad en enero de 2010. El evento, que se representa en la Figura 1, tuvo una magnitud momento de 7.0 y su epicentro se localizó a unos 25 km al suroeste de la capital, a 10 km de profundidad [USG12].

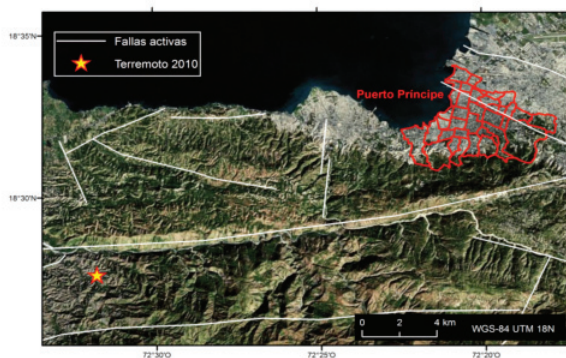


Figura 1. Terremoto de enero de 2010

Uno de los objetivos del proyecto SISMO-HAITÍ es calcular el riesgo sísmico en la capital, Puerto Príncipe, es decir, los escenarios de daños que futuros terremotos podrían causar en la ciudad. El riesgo sísmico puede definirse como la posibilidad de pérdidas debidas a un terremoto, tanto si estas pérdidas son humanas como sociales o económicas; se puede cuantificar a través de la convolución de cuatro factores individuales: amenaza sísmica, exposición, vulnerabilidad y coste específico.

La amenaza sísmica representa el movimiento (dado, por ejemplo, en términos de aceleración pico o

espectral) que un terremoto puede producir en el emplazamiento donde se ubica una estructura, mientras que la exposición se refiere al grado de actividad humana localizada en las zonas donde se observa la amenaza sísmica. La vulnerabilidad representa la susceptibilidad de un elemento expuesto a los efectos del terremoto (representada por la probabilidad de sufrir daños) y el coste específico representa el coste de reparación y restauración de una estructura como proporción del coste de demolerla y reemplazarla.

Para abordar el objetivo de este trabajo, el primer paso es crear un SIG de proyecto donde se incorpore toda la información geográfica que va a intervenir en el estudio: imágenes de satélite, base de datos (BD) de daños y vulnerabilidad estructural, fallas activas, límites administrativos, etc. A continuación y con ayuda del SIG, se analiza el parque inmobiliario de Puerto Príncipe y se clasifica en diferentes tipologías constructivas realizando consultas a la BD. Por otro lado, se analizan las fallas activas con potencial sísmico suficiente como para causar un terremoto que pueda afectar a la ciudad de estudio y se definen así los escenarios sísmicos a simular (localización, magnitud y mecanismo del terremoto). Finalmente, es necesaria la utilización de un modelo empírico de atenuación de la energía liberada por el terremoto con la distancia.

La metodología desarrollada se aplica en dos etapas sucesivas. La primera, que se presenta en este artículo, es una reproducción de los daños causados por el terremoto de enero de 2010, aplicando el método capacidad-demanda implementado en el software SELINA [MOL10] y que servirá para calibrar el modelo de atenuación, la amplificación por geología superficial y el comportamiento de las tipologías constructivas. Con ello se establece una metodología y un modelo de cálculo fiable con el que desarrollar la segunda fase: una estimación de los daños y pérdidas que se produciría por sismos futuros en Puerto Príncipe y que serán la base para elaborar planes de emergencia y prevención ante el riesgo sísmico, con el fin último de conseguir evitar una catástrofe como la de enero de 2010, de la que Haití apenas se ha empezado a recuperar.

Este artículo comienza describiendo el SIG implementado para dar apoyo al proyecto (apartado 2) y continúa exponiendo todos los pasos seguidos para simular el terremoto de enero de 2010 (apartado 3). Como resultado, se presenta la metodología y el modelo de cálculo que se recomiendan para calcular los escenarios de riesgo futuros por ser los que mejor reproducen el escenario de daños de 2010 y, finalmente, se exponen las conclusiones y líneas futuras de trabajo (apartado 5).

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SIG DE PROYECTO

Las pérdidas por riesgos naturales están aumentando en los últimos años [MUN11], lo que podría explicarse por un incremento de la exposición y la vulnerabilidad debido a la expansión que están experimentando las grandes urbes. Esta tendencia de crecimiento ha hecho que los estudios de riesgos naturales alcancen una importancia significativa en las últimas décadas, y como consecuencia, ha aumentado la demanda de información geográfica relacionada con dichos estudios. Las mejores herramientas para gestionar toda esta información son los sistemas de información geográfica, dado su potencial para combinar un gran volumen de datos de diferente naturaleza. Mediante los SIG se crea un marco de referencia común a todos los datos que se usan en un estudio, que se integran y se estructuran de forma ordenada. La homogeneización de formatos, sistemas de referencia, resolución y extensión de los datos resulta una tarea realmente sencilla y cómoda cuando se realiza con un SIG. Además, son innumerables los geoprocursos que permite llevar a cabo, tanto de análisis espacial -ráster y vectorial, 2D y 3D- como de análisis estadístico y análisis de redes. Además, permite explotar bases de datos creando la conexión adecuada e incluso manejar datos con componente temporal (x, y, z, t). Todo ello permite realizar operaciones muy útiles en el desarrollo de los estudios de riesgos naturales, además de visualizar los resultados en cada fase de cálculo, lo que facilita especialmente la interpretación y la toma de decisiones.

En este sentido, se ha implementado un SIG para dar apoyo al presente estudio. El primer paso ha sido recopilar toda la información geográfica posible del área de Puerto Príncipe, capital de Haití. El país carece de una Infraestructura de Datos Espaciales oficial a la que poder recurrir, pero afortunadamente, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de los casos, esta tarea no ha resultado nada complicada porque tras el sismo de enero de 2010 se publicó una gran cantidad de información de muy diversa naturaleza en internet. Se han podido recopilar informes, imágenes de satélite de alta resolución (GeoEye de 15cm), capas de infraestructuras y de servicios urbanos, red de comunicaciones, límites administrativos, curvas de nivel, etc.

Tras descargarla, organizarla por temas y subirla a la plataforma que se ha creado a modo de repositorio donde almacenar e intercambiar información con todos los miembros del equipo de trabajo, se ha seleccionado la que sería de utilidad para las distintas fases de esta parte del estudio y se ha incorporado a un SIG. La herramienta de trabajo ha sido ArcGis 10 y el sistema de referencia

WGS-84 con proyección UTM-18N, siguiendo las recomendaciones del Centro Nacional de Información Geoespacial (CNIGS) de Haití.

Lo primero que se ha analizado son los tipos de edificios que se pueden encontrar en Puerto Príncipe y los daños que sufrieron a causa del sismo de 2010. Además, es interesante saber si se produjo efecto local, es decir, si el movimiento sísmico que llegó a la base de los edificios pudo ser amplificado por el tipo de suelo (los suelos blandos amplifican la onda) o por la topografía (los relieves prominentes también). De esa forma se han conseguido identificar las áreas de la ciudad donde se produce amplificación local del movimiento sísmico y se han delimitado para tenerlas en cuenta en la reconstrucción de la ciudad y a la hora de realizar los planes urbanísticos, pues en esas zonas las construcciones deberán ser más resistentes.

Para esta fase del estudio se ha necesitado un modelo digital del terreno (MDT), un mapa geológico y una base de datos de edificios con su descripción de daño. El MDT se ha creado a partir de las curvas de nivel de ASTER-GDEM [AST10] con equidistancia 20m. En primer lugar se generó un TIN (*Triangle Irregular Network*) utilizando los vértices de las curvas de nivel como puntos de cota, los ríos de una red hidrográfica que se había publicado en la página web del MINUSTAH [MIN10] como líneas de ruptura (*breaklines*) y algunos lagos también obtenidos de la misma web, como polígonos de sustitución (aunque finalmente los lagos se encontraban fuera del polígono que define la zona de estudio, el cual se utilizó como polígono de recorte). Este TIN se pasó a ráster con tamaño de celda 20m, que es el MDT que se ha utilizado para el estudio.

El mapa geológico ha sido proporcionado por el Instituto de Minas y Energía de Haití. Se trata de un mapa realizado por el equipo de Reconocimiento de Eventos Geotécnicos Extremos, GEER (<http://www.geerassociation.org/>), formado tras el terremoto de enero de 2010. El mapa se georeferenció con ayuda de las coordenadas del marco y se digitalizó. A los polígonos que conforman las estructuras geológicas se les añadió un campo que recogía su valor de Vs30 correspondiente (velocidad de las ondas de cizalla en los 30 primeros metros de corteza), parámetro que se ha tomado como indicador de la amplificación del movimiento del suelo por la geología (Dr. M. Navarro, comunicación personal).

Por último, la base de datos con información de los materiales, uso, superficie, número de plantas, localización y grado de daño causado por el terremoto de 2010, entre otros, de cada edificio de Puerto Príncipe, fue proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas de Haití (MOP). Con ella, ha sido posible realizar la clasificación de tipologías, como se explica en el apartado 3.2 y estudiar el posible efecto local.

Asimismo, se ha incluido en el SIG una capa vectorial de fallas activas que había publicado el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en su página web (www.usgs.gov). El equipo de trabajo ha podido completar ese mapa añadiendo todas las fallas menores (de menor potencial sismogénico) de las que tenían información, con ayuda del MDT.

3. SIMULACIÓN DEL SISMO DE ENERO DE 2010 EN HAITÍ

3.1 Análisis del daño causado por el sismo de enero de 2010

Días después del terremoto de enero de 2010, fueron muchos los investigadores que visitaron Haití para hacer una interpretación de los daños y tratar de comprender las causas de los fallos estructurales. Antes de comenzar con la reproducción de ese escenario de daños, se ha hecho una recopilación y lectura de esos informes con el fin de entender la problemática a tratar y conocer las características estructurales de los edificios de la ciudad así como sus debilidades, que explicarían los altos porcentajes de daño sufridos.

El terremoto de Haití de 2010 causó más del doble de muertes que el más letal de todos los sismos de su misma magnitud hasta el momento [BIL10]. La principal explicación, según los informes consultados (p. ej. [BIL10], [FIE10]), se encuentra en la alta vulnerabilidad de los edificios, y es que, hasta la fecha, no hay código sísmico en Haití. Dada la tasa de pobreza del país, su prioridad ha sido luchar por sacar a sus habitantes de esa situación. Esto, sumado a que hace más de 200 años que no sufren un terremoto severo, les ha llevado a despreocuparse del peligro que entraña vivir en una zona de alta actividad sísmica, a pesar de que Calais [CAL02] concluyera que en la zona de falla de Enriquillo había deformación acumulada suficiente como para que se produjera un gran terremoto.

En la Figura 2 se muestra la tipología constructiva más común en Haití [FIE10], que se caracteriza por tener marcos estructurales (vigas y pilares) de hormigón armado con paredes de bloques de hormigón. Esta tipología es también muy frecuente en otros países del mundo y, cuando está bien construida siguiendo los criterios del diseño sismorresistente marcados por las normativas, tiene un comportamiento bastante aceptable. Desgraciadamente, en el caso de Haití, los edificios construidos siguiendo ese modelo tenían marcos débiles, infra-dimensionados, y las paredes no estaban bien confinadas a las vigas y los pilares. El resultado de esta deficiente construcción ha sido el fallo en el comportamiento de miles de edificios que ha derivado en tan alto daño severo y número de colapsos.



Figura 2. Edificación predominante en Haití

Para comprender bien el contexto hay que añadir que en Haití domina la autoconstrucción, es decir, la mayoría de los propietarios de las viviendas son también los constructores de las mismas. Una de las razones es la fuerza de la costumbre, pues esto es un hábito local que también se da en otros países en vías de desarrollo, como en Centro América. La otra es la falta de medios, ya que la mayoría de la población no puede permitirse contratar a un arquitecto y a un constructor, ni pagar al ayuntamiento un permiso de obras. Esto tiene un efecto colateral que es la falta total de control en catastro y urbanismo.

Los informes de daños consultados [BIL10], [FIE10], [EER10], [EBE10] describen las malas prácticas constructivas que se han podido observar en campo, analizando los edificios dañados. Las más relevantes se recogen a continuación:

- Los estribos de atado de las varillas de acero que arman el hormigón se colocan demasiado distanciados entre sí y mal cerrados (a 90° en lugar de a 135° como dictan los códigos sísmico), lo que debilita la estructura.
- El hormigón se fabrica generalmente in situ, sin hormigonera, lo que favorece el aporte de partículas contaminantes a la mezcla, haciéndole perder resistencia.
- En ocasiones, la arena para hormigones y morteros se coge de la playa, que lleva partículas salinas. Éstas afectan a las propiedades no sólo del hormigón, sino también del acero, que se oxida y se vuelve más frágil, reduciendo la ductilidad del elemento estructural que se construya.
- Los pilares suelen tener una sección de unos 15x30cm, cuando lo recomendado es un mínimo de 25cm, y preferiblemente, 30cm. Por otro lado, en general, las losas son demasiado gruesas, lo que aumenta sobre manera la masa de los edificios. Las estructuras así construidas resultan frágiles, cuando lo que se busca en diseño sismorresistente es precisamente lo contrario: ductilidad. El destino de estos edificios es generalmente el colapso llamado *pan cake*.

- Las barras de acero del hormigón armado, así como los estribos, son generalmente más delgados de lo requerido, lo que resta ductilidad al elemento estructural y hace que los estribos se partan con más facilidad. Esto libera al hormigón de su confinamiento, permitiéndole expandirse cuando la vibración es lo suficientemente fuerte, rompiendo de esa manera el pilar o la viga.
- En ocasiones, las barras de acero son lisas en lugar de corrugadas y, habitualmente, están torcidas porque están siendo reutilizadas. Las consecuencias de ello es un mal comportamiento de la estructura.
- En la mayoría de los casos, los elementos de cerramiento se construyen sin confinar y son poco robustos, lo que hace que se comporten de forma independiente cuando llega el movimiento sísmico en lugar de actuar como una única estructura.
- Las losas de los edificios suelen estar atadas en la cara interior de los pilares y no en la exterior. Con ello, en lugar de generarse una rótula plástica en esas uniones que haría resistir al edificio, lo que ocurre es que la losa se comienza a separar de esa unión y con su peso rompe los pilares, haciéndolo colapsar.

Otra causa de los daños causados por el terremoto de 2010, además de la vulnerabilidad de la mayoría de las construcciones en Haití, parece haber sido el efecto local. Con ayuda del SIG, se han analizado los daños y su posible correlación espacial con el tipo de suelo, la topografía y la vulnerabilidad en Puerto Príncipe. Se han localizado áreas de graves daños junto a otras de daños moderados, incluso sin daño, aun tratándose de edificios de similares características constructivas (similar vulnerabilidad). Ello indica que el movimiento sísmico de entrada ha debido ser amplificado por el tipo de suelo y/o por la topografía presente bajo los edificios que han alcanzado un grado de daño mayor. Actualmente, se está reforzando esta teoría por medio de un análisis cuantitativo que se está llevando a cabo con el SIG (las Figuras 3, 4 y 5 muestran tres vistas de este análisis). Se están empleando técnicas estadísticas de análisis espacial para demostrar que el daño presenta auto-correlación e identificar patrones y clústeres, así como para evaluar su correlación espacial con las otras variables (topografía, geología y vulnerabilidad).

Todas estas conclusiones se han tenido en cuenta en la calibración del modelo de cálculo de escenarios de riesgo sísmico, de forma que no se han incluido en el estudio los edificios situados en fuertes pendientes —para evitar una posible influencia del efecto de amplificación por la topografía— y se ha considerado la influencia del tipo de suelo incluyendo en los modelos de atenuación el valor de la V_{s30} . A continuación se exponen las fases de dicha calibración.

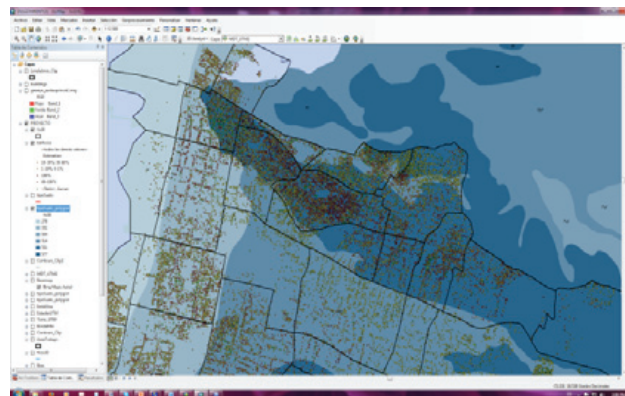


Figura 3. Vista del análisis SIG de la correlación del daño con el tipo de suelo

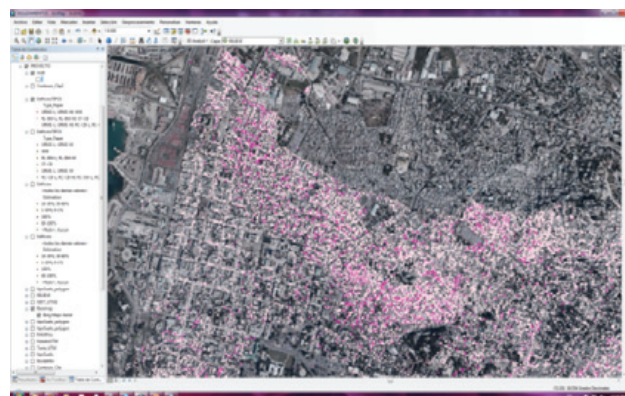


Figura 4. Vista del análisis SIG de la correlación del daño con la vulnerabilidad

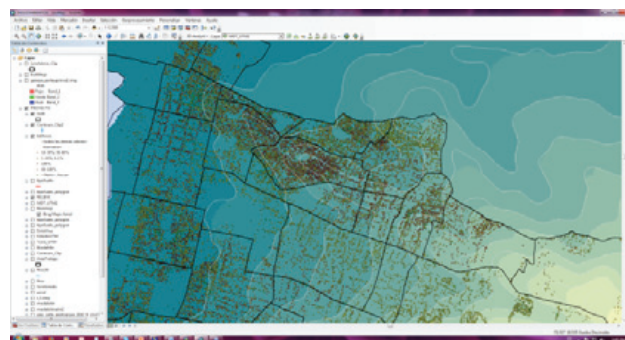


Figura 5. Vista del análisis SIG de la correlación del daño con la topografía

3.2 Clasificación de tipologías constructivas

Con el fin de simplificar el cálculo del riesgo sísmico, el parque inmobiliario de una ciudad se clasifica en tipologías constructivas, de forma que cada tipología sea un modelo que represente a un gran conjunto de edificios con características similares. La clasificación en este estudio se ha hecho siguiendo las metodologías desarrolladas en HAZUS [FEM03] y Risk-UE [MIL03] y el trabajo de Lagomarsino y Giovinazzi (L&G) [LAG06].

Con el fin de recopilar datos para esta fase del proyecto, entre otras, el grupo de trabajo realizó una campaña de campo de dos semanas de duración en Puerto Príncipe en junio de 2011. Guiados por ingenieros civiles locales, se hizo

Otra causa de los daños causados por el terremoto de 2010, además de la vulnerabilidad de la mayoría de las construcciones en Haití, parece haber sido el efecto local. Con ayuda del SIG, se han analizado los daños y su posible correlación espacial con el tipo de suelo, la topografía y la vulnerabilidad en Puerto Príncipe. El movimiento sísmico de entrada ha debido ser amplificado por el tipo de suelo y/o por la topografía presente bajo los edificios

un recorrido por la ciudad con el fin de conocer los distintos tipos de edificios que se construyen. Se realizaron descripciones acompañadas de fotografías, y de esta manera se pudo hacer una primera aproximación de los prototipos constructivos locales.

A partir del conocimiento adquirido en la campaña de campo y tras estudiar los informes de daños mencionados en el apartado 3.1, se ha analizado la base de datos aportada por el MOP, que fue elaborada tras el sismo de 2010 y contiene información de todos los edificios de Puerto Príncipe. Los campos más relevantes para este estudio son:

- Los materiales de la estructura y los muros: a partir de los cuales se ha hecho la clasificación de tipologías.
- El número de plantas: cada tipología se ha clasificado en «baja altura», si tiene entre 1 y 3 plantas, y «media altura» si tiene entre 4 y 6, siguiendo los criterios de HAZUS [FEM03] y Risk-UE [MIL03].
- El uso: sólo se han considerado viviendas convencionales.
- La pendiente de la calle: para no considerar aquellos edificios ubicados en fuertes pendientes, como se ha comentado en el apartado 3.1.
- El daño causado por el terremoto: que aporta información sobre su resistencia a terremotos, es decir, sobre su capacidad.
- Sus coordenadas: para integrarlos en el SIG.

El resultado ha sido la clasificación de todo el parque inmobiliario de Puerto Príncipe en 8 tipologías (MBT). Su descripción se presenta en la Tabla 1.

MBT	Materiales		Nº Edificios	% Daño completo
	Estructura	Muros		
RC-SW	Hormigón armado	Hormigón armado	1257	16%
RC-CB	Hormigón armado	Bloques de hormigón	63100	18%
RC-UM	Hormigón armado	Mampostería sin reforzar	3273	21%
RL-BM	Mampostería reforzada	Bloques de hormigón	11998	23%
URM1	Mampostería confinada	Mampostería sin reforzar	2766	22%
URM2	Marco de madera	Mampostería sin reforzar	2514	26%
W1	Marco de madera	Madera	868	24%
ST-CB	Marco de acero	Bloques de hormigón	508	22%

Tabla 1. Clasificación de tipologías del parque inmobiliario de Puerto Príncipe

3.3 Modelos del movimiento del suelo para Haití

La inexistencia de una red sísmica en Haití no ha permitido el registro continuado de datos de aceleración del movimiento del suelo, debida a la ocurrencia de terremotos, que, para diferentes magnitudes, distancias y coberturas geológicas, hubieran permitido la obtención de modelos espectrales de atenuación del movimiento del suelo (GMPE) específicos de la región y que se usarían tanto en las evaluaciones de la peligrosidad sísmica como en la obtención de escenarios de riesgo sísmico, como es este caso.

Por tanto, ha sido necesario recurrir a la bibliografía existente para tratar de escoger entre los trabajos más recientes aquellos modelos de atenuación que pudieran ser aplicados a Haití por haber sido obtenidos con datos de terremotos que se propagan en ambientes tectónicos y geológicos similares a los de este país. En este sentido, cabe destacar el reciente trabajo realizado por el *Pacific Earthquake Engineering Research Centre* para obtener la nueva generación de modelos de atenuación del movimiento del suelo, denominados *NGA models*. Estos modelos se publicaron en un volumen especial de la revista *Earthquake Spectra* (Vol.24, No. 1, Feb.2008) y para este estudio se han seleccionado los siguientes modelos como posibles candidatos a ser aplicados en Haití: *Boore y Atkinson* (2008) [BOO08], *Abrahamson y Silva* (2008) [ABR08], *Campbell y Bozorgnia* (2008) [CAM08] y *Chiou y Youngs* (2008) [CHI08].

Finalmente el movimiento del suelo se ve influenciado de una manera importante por los efectos locales debidos a la geología superficial (V_s30) y relieves de fuerte pendiente. Para tener en cuenta el primer factor, durante la campaña

de campo en Puerto Príncipe en julio de 2011, se realizó una microzonificación sísmica en la ciudad que ha permitido asignar valores promedios de Vs30 con su correspondiente desviación estándar (σ) a las diferentes unidades de trabajo (distritos) en las que se ha subdividido la ciudad (Figura 6). En este artículo se empleará la siguiente nomenclatura según se utilice la media de Vs30 o la media $\pm \sigma$ en los modelos de atenuación: suelo 1, si se utiliza la media; suelo 2, para la media menos σ ; suelo 3, para la media más σ . El segundo factor, más difícil de cuantificar e incorporar directamente en el cálculo del riesgo sísmico, se ha tenido en cuenta eliminando de la base de datos aquellos edificios que se encuentran ubicados en zonas de fuertes pendientes (como se mencionó en el apartado 3.1), de manera que los efectos de sitio observados se puedan relacionar directamente con la geología local y no con la topografía.



Figura 6. Mapa de Vs30 media en Puerto Príncipe

3.4 Propuesta y calibración de un modelo de cálculo del riesgo sísmico a partir de los daños observados en el terremoto de Haití de 2010

Los resultados de daños que se obtienen a partir de una estimación del riesgo sísmico vienen determinados por el valor del movimiento del suelo en la base del edificio -una vez que dicho movimiento ha sido amplificado por la geología local existente- y la respuesta que dicho edificio manifiesta ante el movimiento -en términos de desplazamiento respecto a la vertical. Dicho comportamiento se representa mediante funciones de daño (curvas de capacidad y fragilidad del edificio).

En realidad, la imposibilidad de determinar de una manera directa el modelo de movimiento del suelo o las funciones de daño se traduce en la necesidad de hacer una calibración de ambos modelos a partir de los resultados de daño observado en el sismo de 2010. Teniendo en cuenta que existe una dependencia directa del daño con ambos modelos simultáneamente, se ha planteado una calibración en dos fases:

- a. En primer lugar se adoptarán las funciones de daño correspondientes a las tipologías constructivas existentes en Haití que se hayan obtenido en otros países para tipologías y materiales similares. Con esos datos se efectuará una calibración del modelo de atenuación y Vs30 más adecuado. Esta primera fase se aplicará exclusivamente a las tipologías RC-CB y RL-BM, puesto que entre ambas representan el 87% del parque de edificaciones en la ciudad de Puerto Príncipe.
- b. En segundo lugar (y teniendo en cuenta que los materiales y técnicas constructivas en Haití no se aplican en base a los criterios y normas que se exigen en los países donde se obtuvieron las funciones de daño propuestas), una vez fijados en la fase anterior los modelos de atenuación y Vs30, se calibrarán las funciones de daño con los datos de daño observado. Esta fase de calibración se aplicará a todas las tipologías propuestas.

a) Calibración del movimiento del suelo y Vs30:

En la Tabla 2 se presentan las funciones de daño que se consideran más apropiadas a las tipologías constructivas definidas en las fases previas (Tabla 1). Estas funciones de daños se han obtenido de los trabajos de L&G [LAG06] y HAZUS [FEM03]. En su definición, la diversidad del parque de edificaciones en Europa y Estados Unidos se reduce a un conjunto de tipologías representativas de dicha diversidad y, a través de métodos de análisis estructural, se simula de una forma analítica el comportamiento de dichas tipologías ante el movimiento del suelo, representando, como se ha mencionado, dicho comportamiento a través de las funciones de daño.

MBT	Función de Daño (FD)
RC-SW	RC2 (Table 6, [LAG06]).
RC-CB	RC1-(Table 6, [LAG06]).
RC-UM	C3 - Precode (Table 5.7d, [FEM03])
RL-BM	M7 (Table 5, [LAG06])
URM1	M6 (Table 5, [LAG06])
URM2	M5 (Table 5, [LAG06])
W1	W1-Precode (Table 5.7d, [FEM03])
ST-CB	S5-Precode (Table 5.7d, [FEM03])

Tabla 2. Asignación de funciones de daño

Con todos los inputs anteriores -los cuatro modelos de atenuación, los valores de suelo 1, 2 y 3 y las 8 tipolo-

logías con sus funciones de daño- se ha simulado el terremoto de 2010 en SELENA [MOL10]. Para las tipologías RC-CB y RL-BM, en las Figura 7 y Figura 8 se presentan los resultados de daño estimado con los cuatro modelos de atenuación y el suelo 1, y el valor de daño observado en el sismo de 2010. Como es posible comprobar, los modelos B&A y C&Y son los que se aproximan más a los datos observados. Se aprecia también que las diferencias entre los valores teóricos y los observados disminuyen conforme el grado de daño se hace mayor.

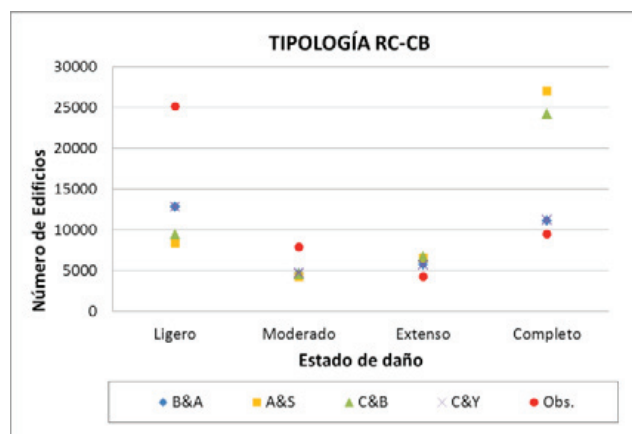


Figura 7. Comparación del daño observado en la tipología RC-CB con el obtenido empleando los cuatro modelos de atenuación propuestos y el suelo 1. Nota: B&A [BOO08]; A&S [ATK08]; C&B [CAM08]; C&Y [CHI08]; Obs: Observado

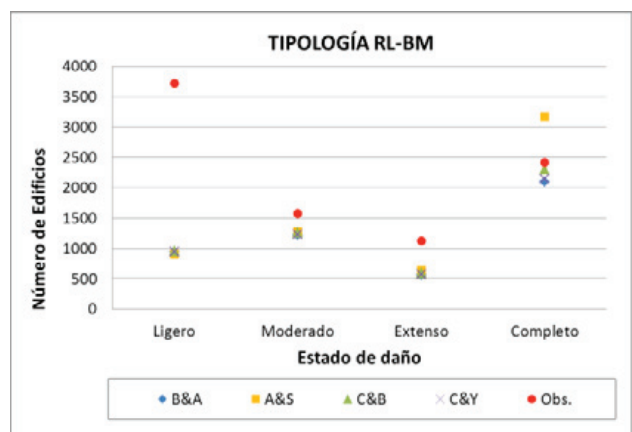


Figura 8. Comparación del daño observado en la tipología RL-BM con el obtenido empleando los cuatro modelos de atenuación propuestos y el suelo 1. Nota: B&A [BOO08]; A&S [ATK08]; C&B [CAM08]; C&Y [CHI08]; Obs: Observado

Para cuantificar el impacto que las diferencias existentes entre el daño calculado y el observado tienen en la ciudad de Puerto Príncipe se ha obtenido el residuo (Valor calculado – Valor observado) y se ha expresado en porcentaje respecto del total de edificios de la tipología correspondiente en dicha ciudad. En las Tablas 3 y 4 se ha representado el valor de dicho porcentaje para las dos tipologías, los dos modelos de movimiento del suelo que se ajustan mejor al daño observado y los tres tipos de suelo.

Los resultados de daños que se obtienen a partir de una estimación del riesgo sísmico vienen determinados por el valor del movimiento del suelo en la base del edificio -una vez que dicho movimiento ha sido amplificado por la geología local existente- y la respuesta que dicho edificio manifiesta ante el movimiento -en términos de desplazamiento respecto a la vertical

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-23.50 %	-6.15 %	2.67 %	3.18 %
1	C&Y	-23.48 %	-6.12 %	2.73 %	3.34 %
2	B&A	-24.05 %	-5.72 %	3.74 %	8.10 %
2	C&Y	-24.36 %	-5.78 %	3.75 %	9.00 %
3	B&A	-23.52 %	-6.58 %	1.84 %	0.15 %
3	C&Y	-23.59 %	-6.65 %	1.73 %	-0.13 %

Tabla 3. Porcentaje que supone el residuo respecto del total de edificios de la tipología RC-CB

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-27.87 %	-3.59 %	-5.60 %	-3.18 %
1	C&Y	-27.84 %	-3.50 %	-5.53 %	-2.74 %
2	B&A	-27.87 %	-3.64 %	-5.61 %	-3.44 %
2	C&Y	-27.83 %	-3.42 %	-5.47 %	-2.25 %
3	B&A	-27.87 %	-3.56 %	-5.59 %	-3.09 %
3	C&Y	-27.84 %	-3.54 %	-5.53 %	-2.84 %

Tabla 4. Porcentaje que supone el residuo respecto del total de edificios de la tipología RL-BM

Al mismo tiempo se observa que los errores son menores cuando el tipo de suelo seleccionado es el correspondiente a la velocidad medida estimada (suelo 1) y a la velocidad medida estimada más 1 desviación estándar (suelo 3).

b) Calibración de las funciones de daños:

Con los modelos de atenuación fijados en el paso anterior (B&A y C&Y) y el valor de Vs30 correspondiente a suelo 1 y suelo 3, se ha procedido a recalculer el escenario de daños para todas las tipologías definidas en Puerto Príncipe. La comparación del daño predicho y observado ha permitido determinar que, para las tipologías RC-CB, RC-UM, RL-BM, W1 y ST-CB, los resultados obtenidos no se aproximan al daño observado. Para las tres primeras tipologías, que representan el 90% del parque de edificaciones, se ha llevado a cabo un proceso de calibración de la curva de capacidad, bien sustituyéndola por aquellas curvas de L&G [LAG06] que proporcionara un menor error o, si esto no fuera posible, modificando directamente los puntos de cedencia y último de las curvas, así como la aceleración límite, hasta obtener un menor residuo.

En el caso de las tipologías RC-UM y RL-BM, se ha determinado que las curvas M7 y M3v de L&G [LAG06] respectivamente, predicen mejor su comportamiento y, por tanto, se obtienen menores residuos al calcular los daños con ellas. Sin embargo, para la tipología RC-CB, no se ha encontrado en la literatura una función de daño que represente el comportamiento de este tipo de estructuras, de forma que se han tenido que modificar sus puntos de cedencia y último, obteniéndose la función RC-CB1. En la Figura 9 se muestra una gráfica con la representación de estas curvas, tanto las propuestas inicialmente en función de la descripción de la tipología, como las calibradas en este estudio.

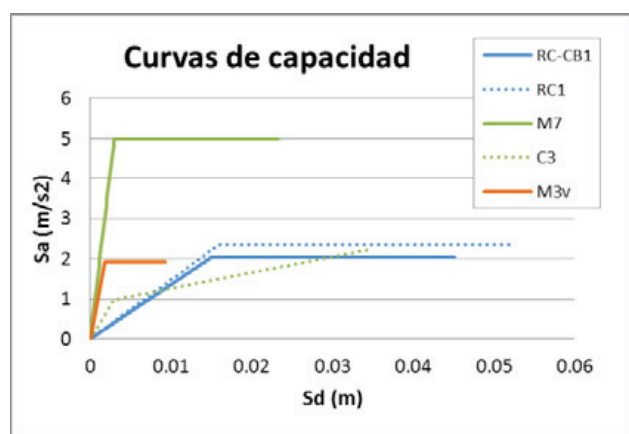


Figura 9. Curvas de capacidad propuestas (en línea de puntos) y calibradas (en línea continua) para las tipologías RC-CB, RC-UM, RL-BM

En las Tablas 5 y 6 se presentan los nuevos porcentajes que suponen los residuos calculados con las funciones de daño calibradas para las tipologías RC-CB y RL-BM, para que se puedan comparar con los obtenidos con las funciones de daño propuestas (Tablas 3 y 4). Se puede observar cómo estos porcentajes son menores, lo que demuestra que las

funciones calibradas representan mejor el comportamiento de las estructuras de dichas tipologías. Además, se puede comprobar que el suelo 1 arroja menores residuos, por tanto es el que se utilizará para realizar el cálculo definitivo.

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-23.39 %	-4.78 %	1.92 %	-1.64 %
1	C&Y	-23.34 %	-4.73 %	1.99 %	-1.47 %
3	B&A	-23.66 %	-5.37 %	1.05 %	-4.03 %
3	C&Y	-23.72 %	-5.42 %	0.98 %	-4.17 %

Tabla 5. Porcentaje que supone el residuo obtenido con la curva calibrada respecto del total de edificios de la tipología RC-CB

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
1	B&A	-18.55 %	-4.12 %	-2.13 %	-4.80 %
1	C&Y	-18.66 %	-3.59 %	-1.34 %	-1.07 %
3	B&A	-49.69 %	-27.11 %	-21.18 %	-24.37 %
3	C&Y	-49.75 %	-24.19 %	-15.10 %	-11.25 %

Tabla 6. Porcentaje que supone el residuo obtenido con la curva calibrada respecto del total de edificios de la tipología RL-BM

A partir de todas estas conclusiones, se ha recalculado el daño con las curvas calibradas y con el suelo 1, y se han obtenido de nuevo los residuos comparando con el daño observado en el terremoto de 2010. En la Tabla 7 se presentan los porcentajes que estos residuos suponen respecto del total de edificios de cada tipología.

Suelo	GMPE	Grado de daño			
		Ligero	Moderado	Extenso	Completo
RC-SW	B&A	-24.18 %	-3.60 %	0.00 %	-1.13 %
	C&Y	-24.07 %	-3.60 %	0.10 %	-0.93 %
RC-CB	B&A	-23.39 %	-4.78 %	1.92 %	-1.64 %
	C&Y	-23.34 %	-4.73 %	1.99 %	-1.47 %
RC-UM	B&A	-36.21 %	-1.43 %	-4.84 %	-2.78 %
	C&Y	-36.25 %	-1.43 %	-4.75 %	-2.57 %
RL-BM	B&A	-18.55 %	-4.12 %	-2.13 %	-4.80 %
	C&Y	-18.66 %	-3.59 %	-1.34 %	-1.07 %
URM1	B&A	-32.57 %	1.91 %	-1.53 %	-5.89 %
	C&Y	-32.57 %	2.18 %	-1.25 %	-3.98 %
URM2	B&A	-30.12 %	-2.64 %	-3.24 %	-5.37 %
	C&Y	-30.17 %	-2.13 %	-2.82 %	-2.41 %
W1	B&A	-9.77 %	-8.39 %	-11.83 %	-24.76 %
	C&Y	-7.98 %	-5.78 %	-11.42 %	-24.76 %
ST-CB	B&A	-22.15 %	-5.94 %	-7.53 %	-23.29 %
	C&Y	-21.69 %	-4.34 %	-6.62 %	-23.29 %

Tabla 7. Porcentaje que supone el residuo obtenido con las curvas calibradas y el suelo 1, respecto del total de edificios para todas las tipologías

En el presente estudio se ha calibrado un modelo de cálculo de escenarios de riesgo sísmico en la ciudad de Puerto Príncipe simulando el terremoto de 2010 en Haití y comparando el resultado con los daños reales causados por el sismo

Se observa que cuanto más grave es el grado de daño, menores son los porcentajes de los residuos, que presentan una media del 3% para los daños extensos y completos (excepto en las tipologías W1 y ST-CB). En el caso del daño ligero, se aprecia en todos los cálculos que se han hecho, que apenas baja del 20%. Esto parece deberse a una sobrestimación de este grado de daño, probablemente porque los edificios a los que se les asignó daño ligero por el terremoto, estaban dañados con anterioridad por otros motivos (terremotos anteriores, premonitores u otras causas naturales o antropogénicas). En cualquier caso, el daño ligero no es un grado de daño determinante en la toma de decisiones de cara a la implementación de planes de emergencia o prevención y mitigación ante el riesgo sísmico, como ocurre con los grados de daño extenso y completo.

En el caso de las tipologías W1 y ST-CB, al representar sólo un 1,6% del parque de edificaciones, parece conveniente recopilar más información de daño en otras poblaciones antes de efectuar una calibración, para así comprobar si los residuos porcentuales que se obtienen responden a un comportamiento anómalo de las tipologías o simplemente a un defecto en la recopilación de información por los técnicos del MOP.

Con el SIG se ha examinado la distribución espacial del residuo porcentual de daño total calculado con el modelo de atenuación C&Y y el suelo 1, en los diferentes distritos en que se divide la ciudad de Puerto Príncipe (Figura 10). Como es posible observar, en la mayoría de los casos los residuos son menores de $\pm 10\%$, lo que se puede considerar una aproximación aceptable. No obstante, se pueden identificar agrupaciones de distritos donde los valores predichos infravaloran (naranjas oscuros) o sobrealoran (azules oscuros) los observados con un porcentaje superior al $\pm 10\%$. Este tipo de representaciones permite, por tanto, decidir para trabajos futuros en qué unidades de trabajo es necesario llevar a cabo un análisis de datos más exhaustivo para averiguar si dichas diferencias se deben al proceso de calibración, a una falta de precisión en la toma de datos o a otros efectos específicos que influyen en el daño de las edificaciones (efecto local).

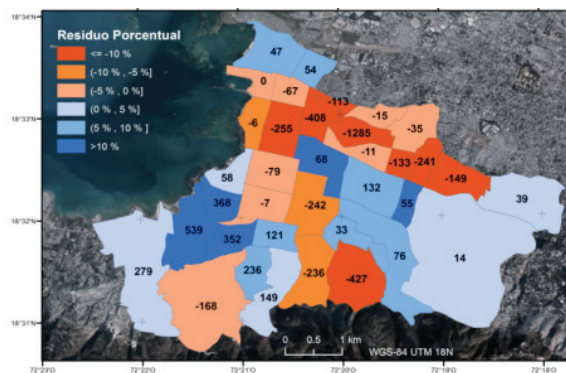


Figura 10. Residuos porcentuales respecto al número total de edificios por distrito

4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente estudio se ha calibrado un modelo de cálculo de escenarios de riesgo sísmico en la ciudad de Puerto Príncipe simulando el terremoto de 2010 en Haití y comparando el resultado con los daños reales causados por el sismo. Para ello, se ha contado con el apoyo de un SIG implementado para gestionar la información geográfica que interviene en el estudio de una manera más eficiente y para facilitar la interpretación de resultados y la toma de decisiones.

Tras analizar los daños producidos por el sismo de 2010 que ha aportado información sobre el comportamiento de los edificios de Puerto Príncipe y explotar la base de datos del Ministerio de Obras Públicas de Haití con información relevante de todos los edificios, se ha realizado una clasificación preliminar de 8 tipologías constructivas en las que agrupar el parque inmobiliario de la ciudad y se les han asignado unas funciones de daño (Tabla 2) extraídas de HAZUS [FEM03] y L&G [LAG06].

Por otro lado, se han seleccionado 4 modelos de movimiento fuerte del suelo de la NGA ([BOO08], [ABR08], [CAM08] y [CHI08]) que representen la atenuación de la energía sísmica con la distancia y que permitan calcular el movimiento sísmico en la base de los edificios. El efecto local causado por la geología se ha tenido en cuenta introduciendo la Vs30 en los modelos de movimiento fuerte (tanto su media como su media $\pm \sigma$); la influencia del efecto local causado por la topografía se ha tratado de minimizar excluyendo del estudio los edificios localizados en fuertes pendientes con ayuda del SIG.

Con este modelo preliminar, se ha realizado una primera simulación del sismo de 2010. Los valores de daños obtenidos por las tipologías predominantes (RC-CB y RL-BM) se han comparado con los reales y se ha podido concluir que los me-

Los edificios de Puerto Príncipe están peor construidos de lo que su descripción en la base de datos hace pensar, por ello se ha efectuado una segunda calibración para modificar las funciones de daño propuestas inicialmente por otras que representen un comportamiento más parecido al daño observado

nores residuos se obtienen con los modelos de movimiento fuerte del suelo de B&A [BOO08] y C&Y [CHI08], utilizando la media de Vs30 y la media + σ . Con esta primera aproximación, se han calculado los daños en las demás tipologías y se ha observado que en cinco de ellas (RC-CB, RC-UM, RL-BM, W1 y ST-CB), el modelo de cálculo preliminar infravalora los daños. Esto confirma que los edificios de Puerto Príncipe están peor construidos de lo que su descripción en la base de datos hace pensar, por ello se ha efectuado una segunda calibración para modificar las funciones de daño propuestas inicialmente por otras que representen un comportamiento más parecido al daño observado.

El modelo de cálculo del riesgo sísmico para Puerto Príncipe que se propone tras realizar este estudio es el siguiente:

- Modelo de movimiento fuerte del suelo: C&Y [CHI08]
- Valor de Vs30 como parámetro indicativo de la amplificación local por la geología: su media (FIGURA).
- Tipologías y vulnerabilidad:
- RC-SW: RC2 [LAG06].
- RC-CB: RC-CB1 (modificada de la RC1 de L&G [LAG06])
- RC-UM: M7 [LAG06]
- RL-BM: M3v [LAG06]
- URM1: M6 [LAG06]
- URM2: M5 [LAG06]
- W1 y ST-CB: se necesitan más datos para poder realizar una calibración más fiable.

Los residuos porcentuales obtenidos con este modelo presentan una media de 3% para los grados de daño severo y completo en todas las tipologías (excepto para W1 y ST-CB), que son los más relevantes a la hora de definir los planes de emergencia y prevención ante el riesgo sísmico.

El SIG implementado en este proyecto ha resultado ser de gran ayuda al proporcionar un marco de referencia

común a todos los datos geográficos que se han utilizado. Ha permitido fácilmente integrarlos y homogeneizarlos, a pesar de diversa naturaleza (sistemas de referencia, escalas, formatos, etc.). Asimismo, ha sido un gran soporte para la explotación de la base de datos de edificios y el análisis de los daños del sismo de 2010 y su correlación con otras variables espaciales (vulnerabilidad, geología y topografía). Por último, ha facilitado la interpretación de los resultados obtenidos en las distintas fases de este estudio y la toma de decisiones o identificación de líneas futuras.

A este respecto, se propone realizar un análisis más exhaustivo de los daños en los distritos que presentan un residuo porcentual mayor del $\pm 10\%$ (Figura 10) en futuros trabajos, así como recopilar más datos sobre las tipologías W1 y ST -CB para mejorar la calibración de sus funciones de daño.

REFERENCIAS

- [AST10] <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> (acceso 15-10-2010)
- [ABR08] Abrahamson N., y W. Silva, (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra*, 24, 1, 67-98.
- [BIL10] Bilham, R (2010): Lessons from the Haiti earthquake. *Nature*, vol 463, pp. 878-879.
- [BOO08] Boore D. M. y G.M. Atkinson, (2008). Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24, 1, 99-138.
- [CAL02] Calais, E., Y. Mazabraud, B. Mercier de Lépinay, P. Mann, G. Mattioli y P. Jansma (2002). Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 29, nº 18, 1856.
- [CAM08] Campbell, K.W. y Y. Bozorgnia, (2008). NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24, 1, 139-172.
- [CHI08] Chiou, B. S.-J y R.R. Youngs, (2008). An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 24, 1, 173-216.
- [CHR10] Chrysostomou, C., D. Hadjimitsis, A. Agapiou y N. Kyriakides (2010). Seismic Risk Assessment for Historical Town Centers and Their Surroundings Using Geoinformatics: the case study of Paphos, Cyprus. M Ioannides (Ed.): EuroMed 2010, LNCS 6436, pp. 528-535. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [EBE10] Eberhard, M.O., S. Balbridge, J. Marshall. W. Mooney y

- J.R.Glenn (2010). «The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: USGS/EERI Advanced Reconnaissance Team Report». USGS Internal Report.
- [EER10] EERI (2010). «Learning from Earthquakes: The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010». Special Earthquake Report.
- [FEM03] HAZUS-MH: Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., United States.
- [FEM05] Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Prepared by Applied Technology Council (ATC-55 Project), Washington, D.C., United States, June 2005.
- [FIE10] Fierro, E. and C. Perry. (2010). «Preliminary Reconnaissance Report – 12 January 2010 Haiti Earthquake». BFP Engineers. 12 pp.
- [LAG06] Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. Bull. Earthq. Eng., 4, 4, 415-443.
- [MIL03] RISK-UE, An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Reportto WP4: Vulnerability of current buildings. September 2003, 109 pp.
- [MIN10] <http://www.un.org/es/peacekeeping/missions/minustah/> (acceso 11-11-2010)
- [MOL10] Molina, S., Lang, D.H., y Lindholm, C.D. (2010). SELENA: An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. Computers & Geosciences 36, pp. 257–269
- [MUN11] Munich Re. (2011). Topics GEO. Catástrofes Naturales 2010. Análisis, Valoraciones, Posiciones. 58 pp.
- [RUK11] Rukstales, K. S., M. D. Petersen, A. D. Frankel, S. C. Harmsen, D. J. Wald, V. R. Quitoriano, y K. M. Haller (2011). Earthquake Scenarios Based Upon the Data and Methodologies of the U.S. Geological Survey's National Seismic Hazard Mapping Project. Presentado en la American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, abstract #PA51A-1797.
- [USG12] USGS, terremoto de Haití: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010rja6/> (acceso 15-may-2012).

Sobre los autores

Yolanda Torres

I.T. Topografía por la UPM (2007). Actualmente finalizando máster en Ing. Geodésica y Cartografía e iniciando doctorado en la UPM. Es becaria de doctorado del Grupo de Investigación de Ing. Sísmica de la ETSITGC, al que pertenece desde 2008, y miembro del Grupo de Cooperación Geoalerta de la ETSITGC (desde 2009). Sus principales líneas de investigación son riesgo sísmico, peligrosidad sísmica, gestión de la información geográfica, cartografía, SIG. Ha participado en 10 proyectos de I+D financiados en convocatorias públicas (FSE, UPM, AECID, CSN, MMA, MCT) y 3 con empresas privadas. Ha presentado 6 ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha publicado 5 artículos y ha sido coautora de un libro. Ha impartido clases en el grado de Ing. Geomática, ha dado varias charlas invitadas sobre el riesgo sísmico y ha sido co-tutora de 5 proyectos fin de carrera.

Sergio Molina Palacios

Doctor en Ciencias Físicas desde el año 1998. Profesor Titular del área de Física de la Tierra en la Universidad en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante. Está adscrito al Instituto de Investigación Multidisciplinar para el Estudio del Medio «Ramón Margalef». Ha publicado 27 artículos en revistas internacionales de impacto, 1 libro y 14 publicaciones en capítulos de libros. Ha participado en 26 proyectos de I+D financiados en convocatorias públicas (nacionales y/o internacionales) así como en 9 contratos de especial re-

levancia con empresas y/o administraciones. Ha presentado 58 contribuciones en congresos internacionales. Ha realizado numerosas estancias de investigación en el extranjero donde ha impartido seminarios relacionados con el Riesgo Sísmico y la Ingeniería Sísmica. Es coautor de la aplicación de código libre SELENA (<http://selena.sourceforge.net>) para la estimación del riesgo sísmico usando el árbol lógico. Imparte docencia en Mecánica de Fluidos y Ondas, en el grado de Ciencias del mar así como la asignatura de Investigación aplicada a la Edificación en el Master de Gestión de la Edificación.

Belén Benito

Catedrática de Universidad, adscrita al Departamento de Ing. Topográfica y Cartografía de la ETSITGC de la UPM. Ha publicado 70 artículos en revistas y proceedings de congresos y 3 libros. Ha participado en 25 proyectos de I+D financiados en convocatorias públicas (nacionales y/o internacionales), siendo investigadora principal en 22 de ellos, así como en 3 contratos de especial relevancia con empresas. Ha presentado 75 contribuciones en congresos internacionales. Ha dirigido 2 tesis doctorales y 10 proyectos fin de carrera e imparte docencia en el grado y master en la ETSITGC, ETSI Industriales (UPM) y Facultad de CC Físicas (UCM): «Geofísica», «Gestión de riesgos naturales», «Peligrosidad y riesgo sísmico», «Definición de la acción sísmica», «Cooperación». Ha participado en los comités científicos de congresos internacionales y moderado varias sesiones.

Detección automática de zonas de sombra y posible asignación de información en imágenes aéreas de ámbito urbano

Alejandro Martínez de Agirre¹, José Antonio Malpica²

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 159, 56-64
mayo-junio 2013
ISSN: 1.131-9.100

Resumen:

Hoy en día, la actualización de bases de datos de ocupación del suelo requiere de un costoso proceso manual. Uno de los principales obstáculos en el reto de la automatización del proceso es la pérdida de información espectral en las zonas de sombra de las imágenes aéreas o satelitales de alta resolución. En este artículo, se presenta un método para la automatización en la detección de sombras en imágenes aéreas utilizando el nDSM construido a partir de la tecnología LiDAR y los metadatos de la imagen aérea. Adicionalmente, se intenta mostrar la posibilidad de la asignación de información para dichas regiones de sombra incluyendo el proceso de detección de sombras desde una perspectiva orientada a objetos.

Abstract:

Currently, updating Land Use Land Cover map databases requires a costly manual process. One of the main obstacles in trying to automate this process is the loss of spectral information in shadow areas of the aerial or high resolution satellite images. In this paper, we present a method to automate the detection of shadows in aerial images by using an nDSM built with LiDAR technology and metadata from space images. Additionally, we show that it is possible to recover the class information for these shadow regions by including this process of shadow detection in an object-oriented perspective.

Palabras clave: **detección de sombras, clasificación de usos del suelo, nDSM, LiDAR.**

Keywords: **shadow detection, land cover classification, nDSM, LiDAR.**

(1) Universidad de Alcalá, Departamento de Matemáticas
(Geodesia y Cartografía)
alejandro.martineza@edu.uah.es

(2) Universidad de Alcalá, Departamento de Matemáticas
(Geodesia y Cartografía)

Recepción: 10-09-2012
Aprobación: 10-10-2012

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el uso de las nuevas tecnologías como navegadores GPS y aplicaciones cartográficas por Internet, el consumo de la información cartográfica por parte de la sociedad ha crecido de forma continua. Para satisfacer esta demanda, las bases de datos cartográficas deben ser actualizadas constantemente con la mayor calidad métrica y temática posible. Las principales fuentes para dichas bases de datos cartográficas son las imágenes aéreas o satelitales, que actualmente pueden ser complementadas por otra fuente de información muy útil como es la tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging). Dentro de las bases de datos cartográficas, una de las más comunes son las bases de datos que reflejan el uso o la cobertura del suelo, ya que proporciona información fundamental para la ordenación del territorio y el análisis ambiental, y son conocidas con el nombre en inglés de Land Use / Land Cover (LULC). El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el responsable del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), donde se integra la información de las Bases de Datos de Ocupación del Suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. Tradicionalmente, las actualizaciones de estas bases de datos cartográficas se han realizado mediante revisiones de campo y técnicas clásicas de fotointerpretación sobre imágenes aéreas, siendo estas metodologías lentas, costosas y subjetivas. La utilización de técnicas de procesado digital de imágenes permite reducir el volumen de información a interpretar de forma manual y se adapta a los ritmos y necesidades de la sociedad actual, que requiere continuamente datos precisos que reflejen fielmente la realidad del territorio.

La detección de sombras es un problema frecuente en el análisis de imágenes aéreas o satelitales de alta resolución. El principal problema causado por las sombras es el de una reducción o pérdida total de información en una imagen. La reducción de información podría conducir a la corrupción de parámetros biofísicos derivados de los valores de los píxeles, tales como el índice de vegetación [LEB96]. Una pérdida total de información significa que el área de la imagen no puede ser interpretada, por lo que imposibilita la creación de productos derivados. Los efectos de las sombras se ven agravados en las regiones donde hay cambios bruscos en la elevación de la superficie, como en las zonas urbanas, donde los edificios proyectan sombras que ocultan otras características de la superficie. El objetivo del presente trabajo es el de automatizar hasta el máximo grado posible el proceso de detección de sombras de imágenes aéreas de alta resolución con tecnología LiDAR desde un enfoque orientado a objetos, para poder asignar información de coberturas a dichas regiones de sombra.

La detección de sombras es un problema frecuente en el análisis de imágenes aéreas o satelitales de alta resolución. El principal problema causado por las sombras es el de una reducción o pérdida total de información en una imagen. La reducción de información podría conducir a la corrupción de parámetros biofísicos derivados de los valores de los píxeles, tales como el índice de vegetación [LEB96]

En lo que a la literatura de detección de sombras se refiere, según [DAR05], para el análisis de sombras en imágenes satelitales de alta resolución, existen cuatro tipos de algoritmos diferentes pero potencialmente relacionados, como son la umbralización, la clasificación, la segmentación, y el modelo geométrico. El algoritmo de umbralización consiste simplemente en pasar a una imagen binaria donde los píxeles que tengan valores superiores a un determinado umbral son considerados como sombra. En [NAG79] se utilizó un histograma bimodal para la detección de sombras en fotogramas aéreos de alta resolución, y en [SHE98] umbralizaron imágenes SPOT para la extracción de sombras de edificios y árboles. La clasificación de imágenes se utiliza más habitualmente con imágenes multiespectrales, en lugar de con imágenes pancromáticas. Sin embargo, las resoluciones más bajas de las imágenes multiespectrales respecto a las pancromáticas, hace que estas últimas sean más apropiadas para la detección de sombras. En [CEA05] proponen un método para la detección de sombras basado en una clasificación supervisada. La segmentación es el proceso en el que la imagen se divide en una matriz contigua espacial de regiones discretas [GON92]. En [AMB06] muestran un procedimiento que permite la identificación de sombras a partir de invariantes del color y bordes para identificar las sombras en imágenes de QuickBird. Otra técnica consiste en utilizar la geometría de la imagen y la iluminación solar en el momento de la adquisición de la imagen. Este método ha sido utilizado por [RAU02] en áreas urbanas, y por [GIL01] en zonas montañosas. En [MEN10] se presen-

ta un método para la detección de sombras a partir del nDSM (normalizad Digital Surface Model) y de la posición solar dentro de un método para la detección de cambios en imágenes de satélite. Este artículo se ha tomado como referencia a la hora de diseñar el algoritmo para el cálculo de sombras. En lo que a la clasificación de imágenes orientada a objetos, OBIA en inglés, en [BLA10] se puede encontrar un estudio reciente sobre el estado del arte en dicha cuestión, donde se hace referencia a más de 820 artículos, los cuales son muy relevantes para nuestros estudios.

2. DATOS

Los datos utilizados en este trabajo corresponden a un proyecto de colaboración del IGN con la universidad de Alcalá de Henares (UAH), y provienen de dos fuentes diferentes. Por un lado se ha contado con la ortofoto aérea de alta resolución de la zona de estudio (Alcalá de Henares), y por otro lado, se ha utilizado un archivo LAS proporcionado por el hardware del láser escáner aerotransportado en el vuelo LiDAR, para obtener el nDSM derivado del mismo.

2.1 Imagen aérea de alta resolución

La imagen aérea de alta resolución con la que se ha contado, se adquirió en el año 2010, y tiene una resolución espacial de 0.5 metros y cuenta con 4 bandas espectrales situadas en el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. Aunque la imagen aérea con la que se ha trabajado tenga una resolución espacial de 0.5 metros, para poder compaginar estos datos con los proporcionados por la tecnología LiDAR, se ha cambiado dicha resolución a 1 metro. Como se comenta más adelante, la densidad mínima de los datos proporcionados por el vuelo LiDAR es de 0.5 puntos por metro cuadrado. Con esta densidad de puntos se ha considerado que la resolución más apropiada para rasterizar la nube de puntos obtenida con el LiDAR, es de 1 metro. En consecuencia, también se ha tenido que trabajar en la imagen aérea con esta misma resolución.

2.2 Datos LiDAR

La tecnología LiDAR permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Los vuelos LiDAR se hicieron a una altura aproximada de 1 800 metros y con una densidad mínima de 0.5 puntos por metro cuadrado, durante el verano de 2010. Cada archivo corresponde a un bloque de 1x1 km, y para este estudio se ha utilizado un único bloque correspondiente al área geográfica de Alcalá de Henares.

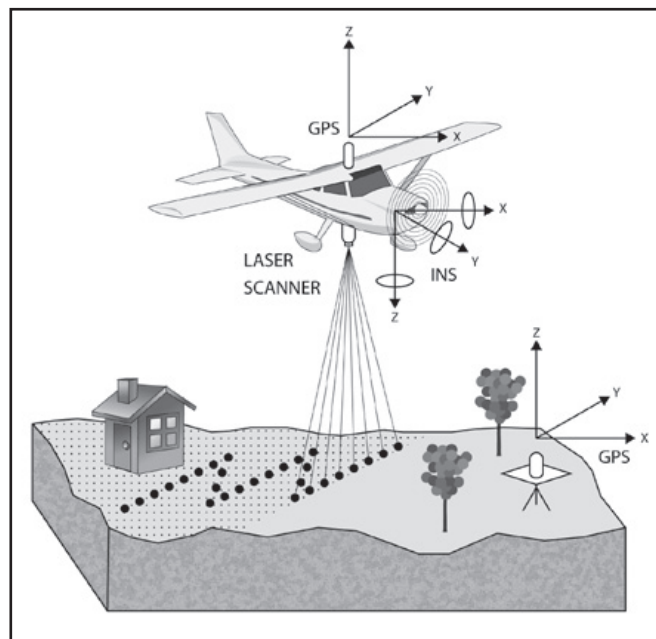


Figura 1. Esquema de vuelo LiDAR

El sensor utilizado en este estudio ha sido el ALS50-II de Leica-Geosystems diseñado para usos topográficos. Captura directamente la información altimétrica del terreno además de la información de intensidad retornada para diversos ecos de la señal. Las principales características del sensor utilizado son las siguientes: una altura de vuelo de entre 200 y 6 000 metros, una frecuencia de hasta 150 000 Hz (150 000 pulsos/seg), un ángulo de apertura entre 10 y 75 grados, una precisión de 11cm en altimetría, un paso de malla de 0.3 a 5 metros, y una densidad de puntos de hasta 12 puntos por metro cuadrado.

3. METODOLOGÍA

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, los datos de entrada utilizados en este trabajo tienen dos componentes: por un lado, la ortofoto de 4 bandas (azul, verde, rojo, e infraRojo cercano) de resolución espectral y una resolución espacial de 1 metro, y por otro lado, los datos LiDAR (medio pulso por metro cuadrado) del área de estudio. Para la implementación se ha utilizado el software de tratamiento de imágenes ENVI sobre el lenguaje de programación IDL.

3.1 Preprocesado

El proceso previo a la obtención del nDSM se basa en el tratamiento de los datos adquiridos mediante la tecnología LiDAR. Este preproceso se ha llevado a cabo

siguiendo la metodología descrita en [MAR10], ya que en este trabajo se describe detalladamente cómo obtener un MDT a partir de datos LiDAR. Para ello, se realiza una rasterización de los archivos LAS proporcionados por el láser escáner aerotransportado del que se obtiene el DSM, y posteriormente, mediante morfología matemática y un análisis de diferencia de retornos de los pulsos, se filtra dicho DSM para la obtención del DTM. Con todo esto, el nDSM se obtiene de la resta del DSM respecto al DTM, logrando así la altura de los diferentes elementos respecto del suelo desnudo.

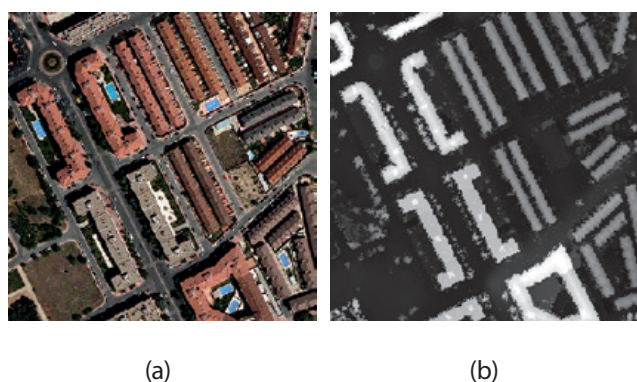


Figura 2. (a) Ortofoto y (b) nDSM de la zona de estudio

3.2 Detección de sombras

El cálculo de las sombras se realiza mediante el nDSM y los valores de la posición del sol (azimut solar y altura solar) en el momento de la captura de la imagen aérea. Para ello, se calcula la longitud de la sombra que proyecta cada píxel como p_sombra , donde h es la diferencia de altura entre el píxel de estudio y el píxel adyacente en la dirección en la que se proyecta la sombra, opuesta a la dirección del sol; donde h_sol es la inclinación solar; y $resol$ es la resolución de la imagen.

Una vez calculada la longitud de cada sombra, y sabiendo la dirección en la que se proyectan las sombras, se calculan los píxeles que dibuja dicha sombra. En un bucle, se calcula cada cierto intervalo las sombras para la coordenada X ($Xsombra$) y las sombras para la coordenada Y ($Ysombra$), donde X_{pixel} e Y_{pixel} son las coordenadas del píxel que proyecta la sombra, donde az_sun es el azimut solar, y D es la distancia (cm) acumulada por los intervalos.

$$Xsombra = X_{pixel} + \sin_{az_sun} D$$

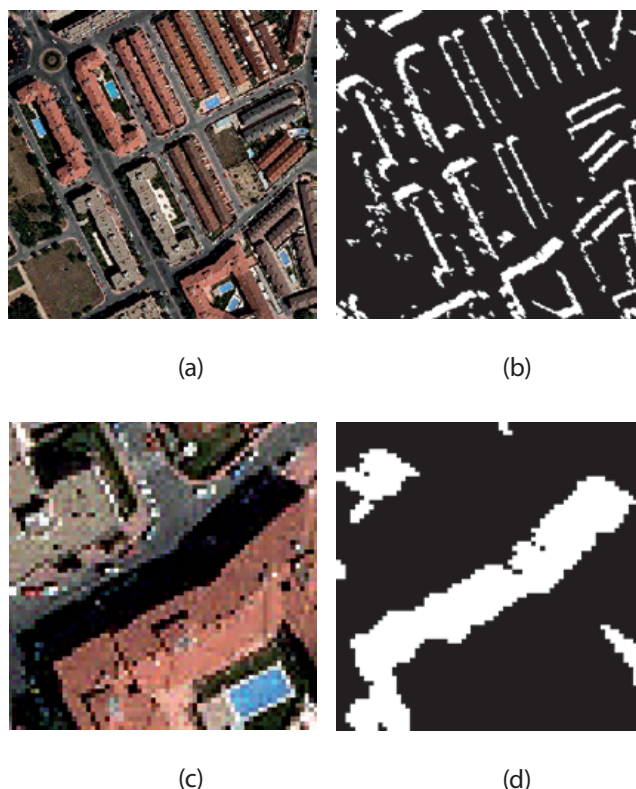


Figura 3. (a) Ortofoto de la zona de estudio, (b) sombras calculadas mediante algoritmo, (c) detalle de sombra en ortofoto, y (d) detalle de sombra calculada

3.3 Regiones de sombras

Para la segmentación de la imagen se han seguido diferentes procedimientos para los píxeles de suelo y los de altura. Por un lado, los píxeles cercanos al suelo (menor altura que un umbral) en el nDSM son segmentados con un algoritmo de crecimiento de regiones limitados a la geometría de los polígonos del SIOSE. Para dicha segmentación se ha utilizado la primera banda del PCA (Principal Component Analysis) de las 4 bandas de la imagen aérea. Por otro lado, los píxeles de altura (mayor altura que el mismo umbral) en el nDSM, son segmentados en diferentes regiones. Con todo esto, obtenemos la imagen completamente segmentada.

Los datos de entrada utilizados en este trabajo tienen dos componentes: la ortofoto de 4 bandas de resolución espectral y una resolución espacial de 1 metro, y los datos LiDAR del área de estudio

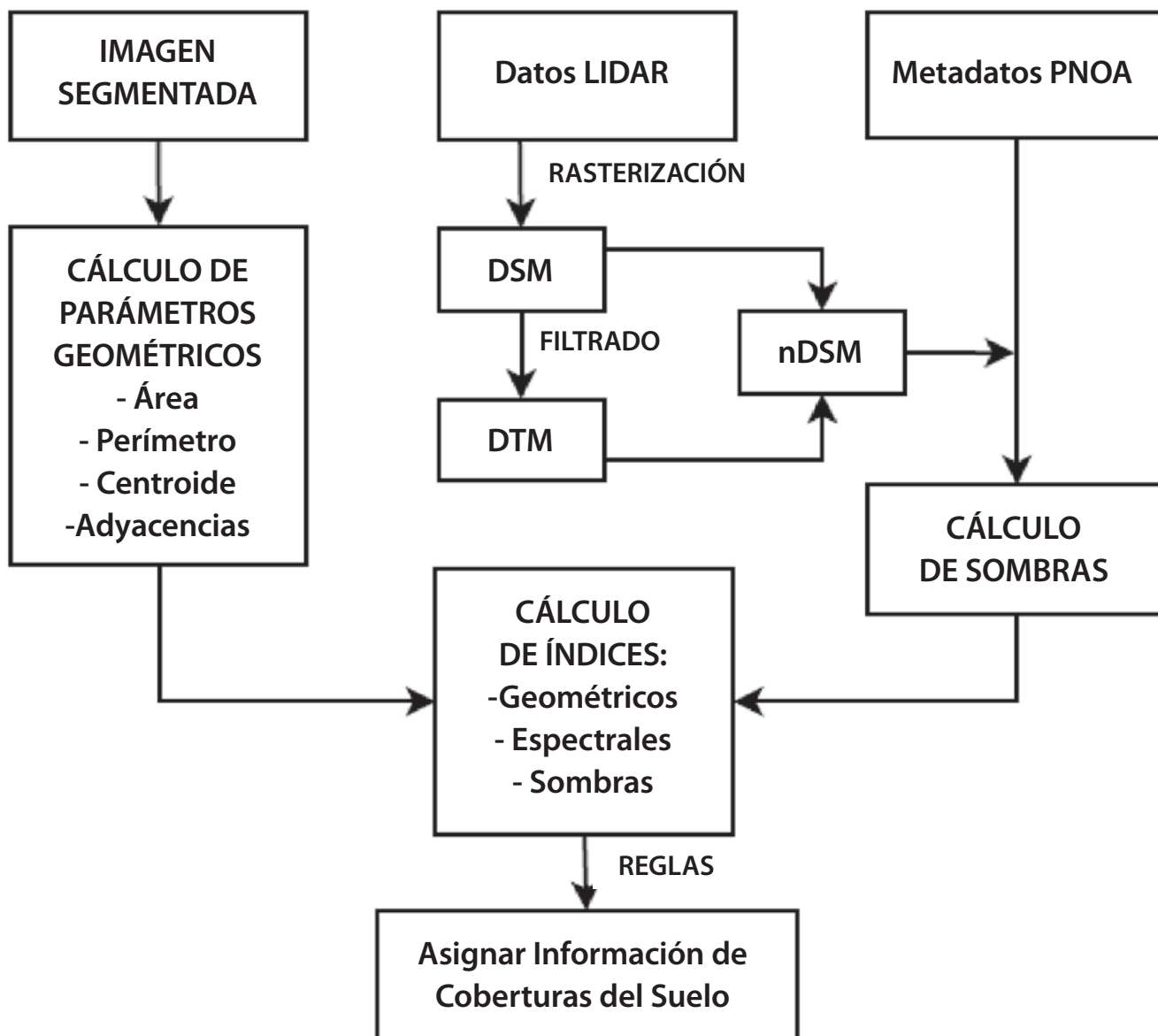


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología propuesta

Las regiones cuyas áreas coincidan en mayor medida con las sombras calculadas por el algoritmo, son consideradas como regiones de sombra, y actualmente se está tratando de asignar información a dichas regiones mediante un grafo de adyacencias (RAG, Region Adjacency Graph) y otros parámetros espectrales y espaciales. Este es un trabajo que se está llevando a cabo en nuestro grupo de investigación.

3.4 Postproceso

El trabajo posterior al cálculo de sombras ha consistido en comparar los resultados obtenidos por el algoritmo con una imagen de sombras digitalizada manualmente. Esta imagen, también denominada máscara de sombras, se ha realizado analizando detalladamente la imagen aérea y digitalizando manualmente las zonas consideradas como sombras.

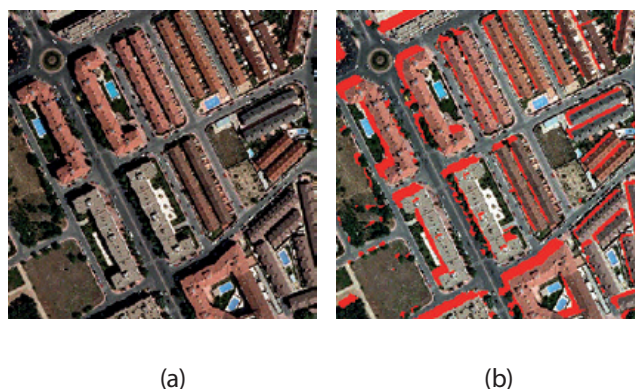


Figura 5. (a) Ortofoto de la zona de estudio, y (b) máscara de sombras digitalizada manualmente superpuesta a la ortofoto

4. RESULTADOS

La evaluación se ha realizado comparando la imagen de sombras calculada, con la máscara digitalizada manualmente sobre la imagen aérea. A modo de ejemplo, vemos los resultados con los parámetros considerados óptimos. En la siguiente imagen de evaluación (Figura 6.d) se pueden ver en color verde los píxeles detectados correctamente como sombra (*TP, True Positive*), en azul los píxeles detectados como sombra y que no lo son (*FP, False Positive*), y en rojo los píxeles no detectados como sombra y que lo son (*FN, False Negative*).

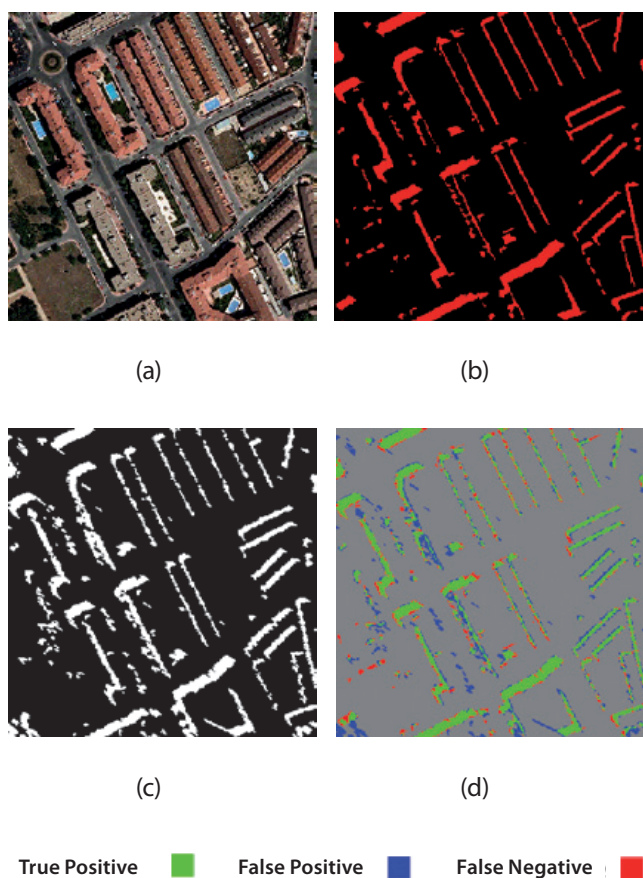


Figura 6. (a) Ortofoto de la zona de estudio, (b) sombras digitalizadas manualmente, (c) sombras calculadas mediante algoritmo, (d) imagen de evaluación,

Como se puede apreciar en la imagen anterior, a simple vista, el algoritmo ha detectado correctamente la mayoría de sombras de la imagen aérea. En las grandes sombras provocadas por los edificios vemos como el algoritmo detecta dichas sombras con una gran precisión, sin embargo, hay casos concretos en los que el algoritmo y la máscara no coinciden con tanto detalle.

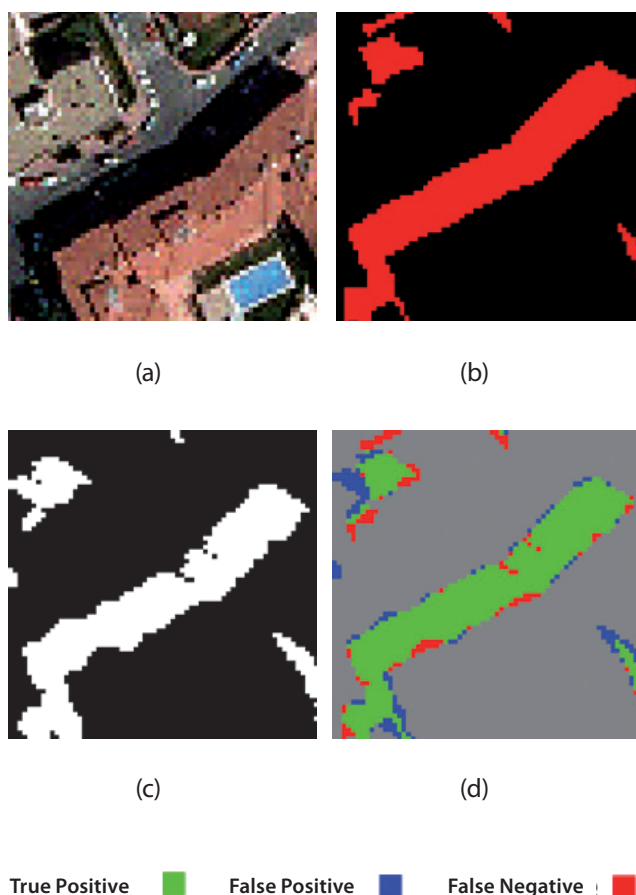


Figura 7. Detalle de sombra de un edificio de (a) imagen aérea, (b) máscara de sombras, (c) imagen calculada de sombras, (d) imagen de evaluación

En esta imagen se puede apreciar la precisión con la que el algoritmo detecta grandes sombras derivadas de los edificios. Podemos ver cómo en la máscara de sombras (Figura 7.b), que se ha digitalizado manualmente sobre la imagen aérea, la sombra del edificio es uniforme. Sin embargo, el algoritmo ha calculado la sombra con un gran nivel de detalle, pero sin tanta uniformidad. Esto es consecuencia de los modelos obtenidos a partir de los datos LiDAR, pero que no tiene un efecto importante a la hora de la clasificación orientada a objetos.

La evaluación se ha realizado comparando la imagen de sombras calculada, con la máscara digitalizada manualmente sobre la imagen aérea

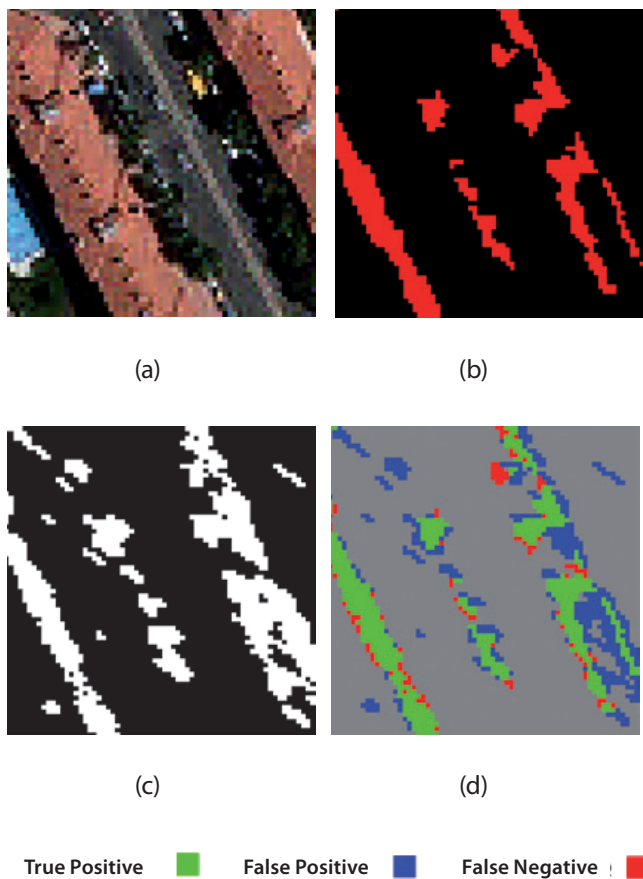


Figura 8. Detalle de sombra de unos árboles de (a) imagen aérea, (b) máscara de sombras, (c) imagen calculada de sombras, (d) imagen de evaluación

En esta otra imagen, se puede apreciar como la sombra del edificio de la izquierda se ha detectado con un gran nivel de detalle, pero que sin embargo, las sombras proyectadas por los árboles del centro de la imagen no coinciden tanto con las sombras de la máscara. Esto es consecuencia de lo complicado que es digitalizar manualmente las sombras producidas por los árboles, y que por lo tanto, es complicado saber si la no coincidencia de las sombras es debido a una incorrecta digitalización, o a una incorrecta detección de las sombras mediante el algoritmo.

4.1 Evaluación numérica de los resultados

Para cuantificar los resultados obtenidos por el algoritmo de detección de sombras, se ha seguido el método indicado en [HEI97] y [ROT05], que definen los índices de completitud y exactitud. En estos índices, los píxeles detectados correctamente como sombra son denominados TP (*True Positive*), los píxeles no detectados como sombra y marcados en la máscara como tal se denominan FN

(*False Negative*), y por último, los píxeles detectados como sombra y que en la máscara no lo son, FP (*False Positive*).

$$Completitud = \frac{TP}{TP + FN} \quad [0,1]$$

En esta investigación, no sólo se han tenido en cuenta los índices mencionados anteriormente, sino que también se ha tenido en cuenta el número de TP respecto a la suma total de TP, FP y FN, porque consideramos que este nuevo índice denominado ET (*Evaluación Total*), complementa los 2 índices anteriores.

En la tabla 1 se muestran las estadísticas derivadas de la imagen de evaluación de la zona de estudio, Figura 6.d. El nivel digital (DN, en inglés) 0 corresponde con los TN en color gris, el nivel digital 1 corresponde con los FN en color rojo, el nivel digital 2 corresponde con los FP en color azul, y por último el nivel digital 3, corresponde con los TP en color verde.

Los resultados del algoritmo de detección de sombras se han obtenido utilizando diferentes parámetros: T1 para el umbral del nDSM (mínima altura de cada píxel para calcular la sombra que proyecta); T2 para el umbral de las sombras (mínima diferencia de alturas entre píxeles en los que la sombra se proyecta); y D para el intervalo de proyección de las sombras. Los resultados obtenidos han llegado a un 71.1% en la completitud, a un 81.8% en la exactitud, y a un 57.4% en la evaluación total (ET). A continuación, se muestra un ejemplo donde la ET ha sido mayor, utilizando los mismos parámetros y sólo cambiando el intervalo de la proyección de la sombra.

T1	T2	D	TE	Comp.	Corr.
4	3	100	0.5480	0.6835	0.7343
4	3	50	0.5692	0.6812	0.7758
4	3	20	0.5743	0.6766	0.7916
4	3	10	0.5743	0.6766	0.7916

Tabla 2. Algunos resultados con diferentes valores

Filename: [Memory5] (300x300x1)					
Dims: Full Scene (90.000 points)					
Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	
Band 1	0	3	0.415189	0.952888	
Histogram	DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	74172	74172	82.4133	82.4133
	1	2683	76855	2.9811	85.3944
	2	4751	81606	5.2789	90.6733
	3	8394	90000	9.3267	100.0000

Tabla 1. Estadísticas de la evaluación del algoritmo

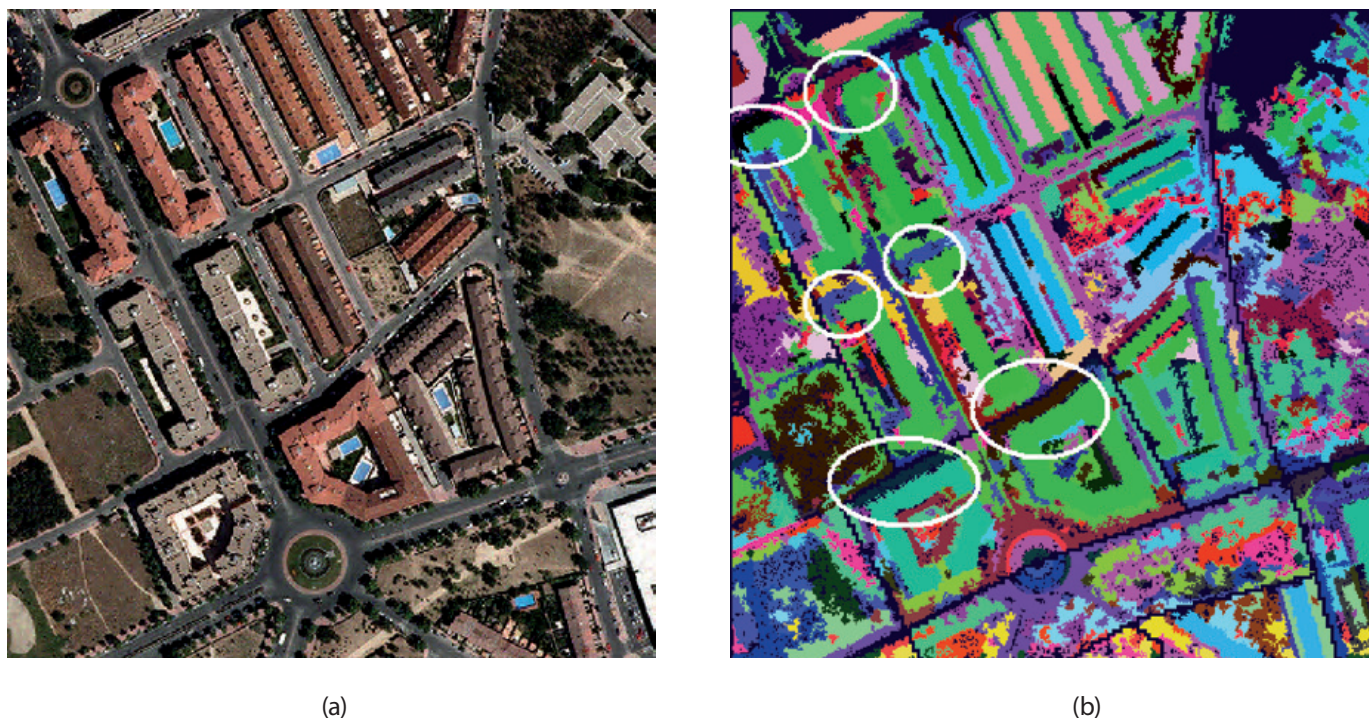


Figura 9. (a) Ortofoto de la zona de estudio, y (b) imagen segmentada de (a) donde se pueden observar algunas regiones que representan sombras

En esta figura se muestra un ejemplo de imagen segmentada. En la imagen se pueden ver diferentes regiones que coinciden con las sombras de la ortofoto. Las regiones indicadas con una elipse blanca representan regiones con un alto grado de sombra. Cuando el grado de sombra de una región está por encima del 70%, esta región se toma para representar las regiones de sombra.

En la detección de regiones de sombra, los resultados han mostrado hasta el momento una buena identificación de las principales regiones de sombra. Los resultados obtenidos con diferentes parámetros de entrada muestran resultados muy fiables para la detección de grandes sombras causadas por los edificios; sin embargo, estos resultados son menos precisos para el cálculo de las sombras provocadas por los árboles.

5. CONCLUSIONES

Intentar automatizar el proceso de detección y eliminación de sombras es importante, ya que es uno de los principales obstáculos en la pérdida de información espectral de imágenes aéreas o satelitales de alta resolución para la clasificación LULC. El método presentado en este artículo muestra cómo automatizar la detección de sombras en imágenes aéreas utilizando la tecnología LiDAR y los metadatos de la propia imagen. Tras realizar una evaluación numérica de los resultados, se puede con-

cluir que los resultados son satisfactorios en la mayoría de pruebas realizadas: 80% en la exactitud, y alcanzando casi el 58% en la evaluación total. Estos resultados cobran ma-

El método presentado en este artículo (automatizar la detección de sombras en imágenes aéreas utilizando la tecnología LiDAR y los metadatos de la propia imagen) da resultados satisfactorios en la mayoría de pruebas realizadas: 80% en la exactitud, y alcanzando casi el 58% en la evaluación total. Estos resultados cobran mayor importancia en el contexto general de actualización de bases de datos LULC, ya que con esta metodología sólo es necesario que una parte de la región sea reconocida como sombra

yor importancia en el contexto general de actualización de bases de datos LULC, ya que con esta metodología sólo es necesario que una parte de la región sea reconocida como sombra. Esto se debe a que la actualización de este tipo de bases de datos se ve desde una perspectiva orientada a objetos, y no por píxel. Cuando una región se detecta como sombra por el método propuesto en este trabajo es necesario asignarle una cobertura del suelo. En la actualidad nuestro grupo de investigación de la Universidad de Alcalá está tratando de llevar a cabo un análisis más detallado, con métodos de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos, con el fin de recuperar la información de la cobertura del suelo perdida en cada región debido a la sombra.

REFERENCIAS

- [AMB06] G. Ambrosio, V. Arévalo, J. González, and J. Valdés, «Detección de sombras en imágenes de satélite de alta resolución QuickBird», XXXVI Jornadas de Automática, Almería, Septiembre 2006.
- [BLA10] T. Blaschke, «Object Based Image Analysis for remote sensing», *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 65(1), pp. 2-16, 2010.
- [CEA05] C. Cea, J. Cristobal, P. Serra, and X. Pons, «Mejoras en la teledetección semiautomática de nubes y sombras en imágenes Landsat», XI Congreso Nacional de Teledetección, Tenerife, Septiembre 2005.
- [DAR05] P.M. Dare, «Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, pp. 169-177, Febrero 2005.
- [GIL01] P. Giles, «Remote sensing and cast shadows in mountainous terrain», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(5), pp. 833-839, 2001.
- [GON92] R.C. Gonzalez, and R.E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley, New York, 1992.
- [HEI97] C. Heipke, H. Mayer, C. Widemann, and O. Jamet, «Automated reconstruction of topographic objects from aerial images using vectorized map information», In *ASPRS*, XXXII-2-3-W3, pp.47-56, 1997.
- [LEB96] B. Leblon, L. Gallant, and H. Granberg, «Effects of shadowing types on ground-measured visible and near-infrared shadow reflectances», *Remote Sensing of Environment*, 58(3):322-328, 1996.
- [MAR10] A. Martínez de Agirre and J.A. Malpica, «Constructing Digital Terrain from LIDAR data», In the book *Advances in Geoinformation Technologies 2010*, pp. 47-59.
- [MEN10] J.B. Mena and J.A. Malpica, «A change detection method with radiometric normalization and shadows removal in multispectral satellite imagery», en proceso de revisión.
- [NAG79] M. Nagao, T. Matsuyama, and Y. Ikeda, «Region extraction and shape analysis in aerial photos», *Computer Graphics and Image Processing*, 10, pp.195-223, 1979.
- [RAU02] J. Rau, N.Y. Chen, and L.C. Chen, «True orthophoto generation of built-up areas using multi-view images», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(6), pp. 581-588, 2002.
- [ROT05] F. Rottensteiner, J. Trinder, S. Clode, and K. Kubic, «Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LIDAR data and multi-spectral images for built detection», *Information Fusion* 6 (4), pp. 109-121, 2005.
- [SHE98] V.K. Shettigara, and G.M. Sumerling, «Height determination of extended objects using shadow in SPOT images», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64(1), pp. 35-44, 1998.

Sobre los autores

Alejandro Martínez de Agirre

Obtiene el título en Ingeniero Técnico en Topografía por la Universidad del País Vasco en 2006 y el de Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad de Alcalá en 2009, está realizando la tesis doctoral en el Departamento de Matemáticas de la Escuela Politécnica de la Universidad de Alcalá. Ha publicado, junto con otros autores, un artículo y un capítulo de libro, y ha participado en congresos nacionales organizados por la Asociación Española de Teledetección y congresos internacionales organizados por las sociedades IEEE y ASPRS.

José Antonio Malpica

Obtuvo el grado de doctor en Ciencias Matemáticas (sección de Astronomía y Geodesia) por la Universidad Complutense en 1992, fue profesor Titular de Universidad en el área de conocimiento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría desde 1999 en el Departamento de Matemáticas de la Escuela Politécnica de la Universidad de Alcalá. Publicó como único autor dos libros de texto y un tercero en colaboración. Realizaba ponencias en congresos internacionales organizados por las sociedades IEEE, ASPRS, ISPRS y SPIE, era miembro de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica y del Internacional Symposium on Visual Computing. Fue autor y revisor científico de trabajos en las revistas *Survey Review*, *Applied Mathematics and Computation*, *Pattern Recognition*, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *Computer and Geoscience* y *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.

Suscripción a la revista Mapping

Subscriptions and orders

Datos del suscriptor / Customer details:

Nombre y Apellidos / Name and Surname: _____

Razón Social / Company or Institution name: _____ NIF-CIF / VAT Number: _____

Dirección / Street address: _____ CP / Postal Code: _____

Localidad / Town, City: _____ Provincia / Province: _____

País - Estado / Country - State: _____ Teléfono / Phone: _____

Móvil / Mobile: _____ Fax / Fax: _____

e-mail: _____ Fecha / Order date: ____/____/____

SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTION:

- España / Spain : 60€
- Europa / Europe: 90€
- Resto de Países / International: 120€

Precios de suscripción por año completo 2013 (6 números por año) Prices year 2013 (6 issues per year):

NÚMEROS SUELTOS / SEPARATE ISSUES:

- España / Spain : 15€
- Europa / Europe: 22€
- Resto de Países / International: 35€

Los anteriores precios incluyen el IVA. Solamente para España y países de la UE The above prices include TAX Only Spain and EU countries

Forma de pago / Payment:

Transferencia a favor de eGeoMapping S.L. al número de cuenta CAIXABANK, S.A.:

2100-1578-31-0200249757

Bank transfer in favor of eGeomapping S.L., with CAIXABANK, S.A.:

IBAN nº: ES83-2100-1578-3102-0024-9757 (SWIFT CODE: CAIXAESBBXXX)

Distribución y venta / Distribution and sale:

Departamento de Publicaciones de eGeoMapping S.L.

C/ Linneo 37. 1ºB. Escalera central. 28005-Madrid

Tels: (+34) 91 301 05 64 ; (+34) 655 95 98 69

Fax: (+34) 91 746 70 06

e-mail: info@mappinginteractivo.es

www.mappinginteractivo.es

Firma _____

Plan de formación interadministrativo IGN-CNIG (4º trimestre 2013)

El IGN, a través del Centro Nacional de Información Geográfica, es el promotor de un Plan Interadministrativo de Formación, cuyo fin es reunir como participantes al personal técnico de las Administraciones Públicas.

Los cursos son presenciales y están dirigidos al personal funcionario y personal laboral de las Administraciones Públicas. La presentación de solicitudes se realizará mediante la remisión del formulario de inscripción por correo electrónico o fax al coordinador correspondiente, hasta 20 días naturales antes del comienzo del curso.

Los cursos disponibles son

- Curso sobre **"Especificaciones de datos de INSPIRE. Adaptación de los modelos de datos de información geográfica de las Administraciones Públicas a la Directiva europea INSPIRE"**
Fecha: 25 a 29 de noviembre
Duración: 30 horas
Participantes: 16
Coordinadora: Paloma Abad Power
Correo electrónico: pabad@fomento.es;
Fax: 91 597 97 64
- Curso sobre **"Curso de captura y tratamiento geométrico de BTN25 sobre entorno SIG"**
Fecha: 4 a 8 de noviembre
Duración: 40 horas
Participantes: 16
Coordinadora: Ana de las Cuevas Suárez
Correo electrónico: adelascuevas@fomento.es
Fax: 915979765
- Curso sobre **"Desarrollo de servicios web estándar de información geográfica para una Infraestructura de Datos Espaciales"**
Fecha: 18 a 22 de noviembre

Duración: 30 horas
Participantes: 16
Coordinador: Antonio F. Rodríguez Pascual
Correo electrónico: afrodriguez@fomento.es
Fax: 91 597 97 64

- Curso sobre **"Manejo de datos del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT)"**
Fecha: 11 a 15 de noviembre
Duración: 25 horas
Participantes: 16
Coordinador: Emilio Domenech Tofiño
Correo electrónico: edomenech@fomento.es
Fax: 91 597 97 70

Para más información, consulta la sección de becas y cursos del Instituto Geográfico Nacional de España,

Fuente: Blog IDEE.

Spanish airport operator Aena rolls out corporate GIS based on Cadcorp technology

Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), which handles more passengers than any other airport operator in the world, is using software from the British developer Cadcorp to manage geographic information about its extensive infrastructure of airports and radio masts. Any authorised user can now visualise, add and modify cartographic and infrastructural data, from Aena premises that include both airports and radio mast installations.

The application called "SIGNA" by Aena, is the start of a wider GIS project for intranet GIS, first specified by the Aeronautic Information Service (AIS) in Aena in 2009. The project aim was to bring together the range of geographic data built up over the years by Aena into a single web server, in order to serve any user requesting this information.



The application has been developed by Cadcorp partner Recursos Técnicos Madrid, S.L. under Aena's specifications, and in collaboration with the contractor Topografía y Obras, S.A. (TYOSA). TYOSA was responsible for surveying and field data collection over a three year period. In parallel, RTM working with the staff of Aena, assumed the responsibility for application development. This included designing the software user interface, and maintaining connectivity with a central spatial database "Ingena". All maps and surveying data held in Ingena can now be accessed through Internet Explorer® over Aena's intranet.

RTM was tasked with migrating the Ingena database from Oracle® to Microsoft SQL Server®, while at the same time developing the graphic client application that would access the database. The task was complicated by the requirement for the application to accommodate new records as the TYOSA survey team created them, as Mr. Hacar in charge of the project from RTM's side, explains:

“The integration with database records is done in real time and updated and coordinated by means of a Maintenance application we have developed for the Ingena database. It takes advantage of one of the strengths of Cadcorp technology by being able to upload all available maps - in both vector and raster formats - in their native format. We are able to add 2D and 3D vector maps in formats such as DGN, DWG and SHP, without any modifications. We are also managing orthophotos as very large raster files, again without problems.”

“We congratulate RTM on the success of this prestigious project” commented Mike O’Neil, CEO of Cadcorp. “They have shown the value of treating spatial information is a generic and shared resource that organisations can put to work in support of different business activities.”

El programa de cooperación del gobierno y comunidades autónomas para la observación del territorio, premiado por la ONU

La Organización de Naciones Unidas ha concedido al Programa Nacional de Observación de la Tierra (PNOT) el segundo premio del 2013 *United Nations Public Service Awards* para la zona América-Europa en la categoría correspondiente a «Promoción de enfoques compartidos de todas las administraciones en la era de la información» (*“Promotion of Whole-of-Government Approaches in the Information Age”*). En este proyecto, en el que colaboran el Instituto Geográfico Nacional y las comunidades autónomas, participan por Andalucía el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente.



Desde su instauración en 2003, estos premios de la ONU constituyen el reconocimiento internacional más prestigioso de la excelencia en el servicio público, premiando los logros creativos de las instituciones a nivel mundial y considerándolos como referentes de una administración pública más eficaz y sensible en todos los países.

El PNOT, según la ONU, constituye el ejemplo más significativo de modelo de producción de datos espaciales descentralizado y coordinado, basado en la cooperación entre administraciones. Este modelo, extendido a toda la producción estadística y cartográfica, es el que propugna el proyecto de Plan Estadístico y Cartográfico de Andalucía 2013-2017, que actualmente se está tramitando en el Parlamento de Andalucía.

Entre los resultados más significativos del PNOT para nuestra comunidad destacan la obtención de cinco coberturas completas de Andalucía con vuelos fotogramétricos, la producción de modelos digitales del terreno y ortofotos digitales bianuales (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), la captura de centenares de imágenes de satélite sobre nuestro territorio en alta, media y baja resolución (Plan Nacional de Teledetección) y, finalmente, el desarrollo del Sistema de Ocupación del Suelo a escala 1/10.000 (SIOSE), que constituye una de las bases de referencias más importantes para las políticas territoriales y ambientales.

Algo más que cuatro piedras viejas

El hallazgo de un taller paleolítico en Vicálvaro reabre el debate sobre el mantenimiento de los yacimientos arqueológicos. ¿Cuál es su mejor futuro?

Es un proceso minucioso. Manual y lento. El pincel arrastra montoncitos de tierra. Asoma una de las aristas de un sílex y la arqueóloga la marca pegando al lado una chincheta roja. Hace 200.000 ó 300.000 años, otra mano señaló probablemente ese trozo de mineral y lo talló con pericia a golpes de percutor, una piedra calcárea traída desde el Jarama, hasta afilar un bifaz (hacha de mano) con el que podía abrir en canal un elefante. Entonces, Vicálvaro no era Vicálvaro, ni estaban previstas miles de casas alrededor de esta explanada por la que asoma el sílex, entre los valles del Manzanares y el Jarama.

Media docena de especialistas rascan la tierra a pleno sol en un secarral de unos 50 metros cuadrados situado casi en mitad de ninguna parte. Sacan a la luz el último hallazgo arqueológico de la región: un taller de sílex del Paleolítico Inferior, bautizado como Charco Hondo. Madrid tiene más de 3.000 yacimientos documentados, de los que 18 se enseñan al público como museos, tanto al aire libre como enclavados en las obras donde se encontraron.

En España no existe un taller documentado de esta cronología como el de Charco Hondo, señala Sergio Báez, geoarqueólogo y codirector de la excavación. Pero es difícil alcanzar un consenso sobre cuál es su mejor futuro. ¿Se debe tratar y mostrarlo al público como reclaman vecinos de Vicálvaro y los partidos de la oposición? ¿Mejor conservarlo cubierto para abrirlo después a la investigación?

Hace tres semanas que comenzaron los trabajos para sacarlo a la luz, aunque su existencia llevaba documentada desde hace seis años. No hay

prisa. La crisis del ladrillo y una sentencia del Tribunal Supremo tienen en suspenso el desarrollo urbanístico en el que están previstas 15.400 viviendas. Otra peculiaridad del taller es su buen estado de conservación. «Es como un instante congelado en el tiempo», describe Bárez al filo de la cuesta que baja hasta el yacimiento.



Dos arqueólogas, en el yacimiento de Vicálvaro. / KIKE PARA

La pista para localizarlo fue la depresión que presentaba el terreno en ese punto. Se llevó a cabo un sondeo con una pala y se descubrió. El lugar estaba surcado por pequeños arroyos que erosionaron el suelo y dejaron al descubierto los materiales más resistentes, los nódulos de sílex. Después ese mismo arroyo trajo la arena que lo tapó y permitió su conservación hasta nuestros días. «Así pudieron acceder los hombres primitivos a la materia prima», añade Bárez. Todavía no se sabe con precisión si eran neandertales o su predecesor, el homo Heidelbergensis. Falta realizar las pruebas que permitan acotar con más exactitud el periodo al que pertenecen los restos.

En los alrededores se han encontrado otros restos de distintas épocas. Los más importantes: Casa Montero, con neolítico de sílex y El Cañaveral, donde se han documentado cuatro yacimientos del Paleolítico Medio (50.000-100.000 años). Y

en el mismo desarrollo urbanístico de Los Ahijones, a apenas unos metros, se encuentra una necrópolis visigoda con 824 tumbas y restos de 1.500 individuos de entre finales del siglo V y el VII. Los hallazgos, en este caso, se han sacado del terreno y se han trasladado al Museo Arqueológico Regional, en Alcalá de Henares.

La Dirección General de Patrimonio, dependiente de la Comunidad de Madrid, prevé cubrir el taller con una malla geotextil y arena. Los restos serán trasladados primero a la Universidad Autónoma de Madrid y después serán recogidos en el mismo museo.

Cubrir el yacimiento en lugar de abrir un museo «no es una cuestión de dinero», señala Ignacio Muñoz, director general de Patrimonio. «Este lugar tiene un gran interés científico pero no visual», añade. «Es como una cantera, los antiguos habitantes venían a hacer las herramientas y se iban, por lo que un posible visitante solo vería piedras y arena, salvo que acuda con un arqueólogo que se lo explique».

El presupuesto regional para yacimientos visitables y actuaciones arqueológicas se ha reducido levemente en dos años. Según la Consejería de Cultura, en 2011 se ejecutaron 500.000 euros, casi 200.000 menos que los previstos inicialmente, que se recortaron por falta de fondos del Gobierno regional. Para 2013, prevén alcanzar los 420.000 euros, cantidad resultante de sumar los 380.000 reflejados en el presupuesto más 50.000 que Cultura prevé añadir.

Para una zona como el distrito de Vicálvaro, en el que escasean los reclamos turísticos culturales, un yacimiento abierto al público podría suponer un aliciente. Así lo defienden tanto IU como el PSOE, que comenzaron reclamando que se mantuviera la necrópolis visigoda al aire —en cuyos alrededores, los arqueólogos buscan ahora un poblado de la misma época— y han presentado iniciativas tanto a nivel municipal como regional.



El caso de Los Ahijones es un ejemplo positivo de colaboración entre todos los implicados en este tipo de actuaciones: los constructores y propietarios, la Administración pública y los expertos en arqueología. Pero no siempre es un proceso sencillo. «Otras veces, hemos tenido que luchar y convencer a los propietarios, porque para ellos supone un desembolso económico muy importante», afirma el director general de Patrimonio. La junta de compensación de Los Ahijones ha gastado unos tres millones de euros entre estudios, sondeos y excavaciones en todo el ámbito, con 630 hectáreas. Una gran parte del dinero, 900.000 euros, han ido a parar a la necrópolis visigoda. «Hemos liberado de todo, porque esto es una zona que, por suerte o por desgracia, tiene una gran riqueza arqueológica», añade el presidente de la junta, Luis Iglesias.

«No siempre hay esta buena convivencia. Normalmente, las constructoras solo valoran el proyecto que tienen que sacar adelante y se empeñan en repetir que los hallazgos no valen nada», explica Jorge Vega, arqueólogo y director de la empresa Argea, contratada por los propietarios para los sondeos arqueológicos. Hacen falta acuerdos y también tiempo. Así lo demuestra el yacimiento más popular de la región, Complutum, la villa romana sobre la que está edificada Alcalá de



Arqueólogos, durante las labores de excavación del taller. / COMUNIDAD DE MADRID

Henares. Han sido necesarios 30 años de investigación y excavaciones para contemplar las ocho hectáreas de museo, abiertas en 2009. El año pasado lo visitaron 18.668 personas.

«La toma de decisiones es un proceso muy complejo», explica el director de la excavación de Complutum, Sebastián Rascón. «En realidad no existe un procedimiento estándar para decidir cuándo conservar in situ un hallazgo. Según el sitio, los factores varían», añade este experto, que ha participado en los trabajos de Alcalá durante las últimas tres décadas. La villa romana fue descubierta en el siglo XVI y, desde entonces, ha sufrido temporadas en el olvido y otras épocas maltratada, como durante la Guerra Civil y la posguerra. Tiene una extensión real de 50 hectáreas, la mitad ocupadas por viviendas. El resto es terreno público, por lo que se ha podido excavar y se sigue investigando. «Antes de musealizar, es necesario un proceso de investigación que es muy extenso», añade Rascón, «porque el yacimiento arqueológico no se agota nunca». La última palabra, en cualquier caso, la tiene la Administración.

El responsable de Complutum defiende además que es beneficioso mantener parte de los restos bajo tierra, como una biblioteca en la reserva para futuras generaciones. Más allá de lo que se pueda mostrar en un museo, hay informaciones muy valiosas para los investigadores de ahora y para los que vengan después, que previsiblemente dispondrán de técnicas mucho más sofisticadas.

En el caso de la necrópolis visigoda, los restos óseos permiten detallar enfermedades de nuestros antepasados, descubrir si sufrieron cálculos renales, por ejemplo. La observación de los utensilios del taller lítico con ojos de experto desvela el nivel de habilidad de los hombres de entonces en el uso de las primeras tecnologías del ser humano. «Nuestra hipó-

tesis es que se movían en grupos y tenían personal experto para la producción de herramientas», señala Javier Baena, catedrático de Prehistoria de la Universidad Autónoma de Madrid, mientras talla un nódulo de sílex hasta dejarlo tan fino que puede cortar un folio. Baena y su equipo de investigación colaboran en los trabajos de Los Ahijones sobre el terreno.

Aunque el taller quedará cubierto, puede que al final parte de sus restos se destinen a un centro de interpretación que reúna los hallazgos de las distintas épocas que se han descubierto en Vicálvaro. Los propietarios lo ven con buenos ojos. El presidente de la junta de compensación aclara que tanto ellos como quienes gestionan Los Berrocales (un desarrollo urbanístico cercano) están dispuestos a colaborar con Patrimonio si se considera que vale la pena crear un museo interpretativo donde se pudiera apreciar la evolución desde el Paleolítico hasta el siglo XVI, con vestigios altoimperiales romanos, de la alta Edad Media, restos islámicos y otros de la etapa bajomedieval cristiana.

Diana Díez, presidente de la Sección de Arqueología del Colegio de Doctores y Licenciados de Madrid, opina que los arqueólogos tienen todavía como asignatura pendiente transmitir a la sociedad el significado del trabajo que desarrollan. «No hemos conseguido llegar a las personas de la manera que nos gustaría», opina. La consecuencia, apunta, es que si no se conoce el valor del patrimonio es imposible que se proteja. Esa actitud

cambia cuando se visita otro país. «Si alguien viaja a Grecia está dispuesto a recorrer kilómetros para ver lo que el común de los mortales calificaría aquí, en España, como cuatro piedras», pone como ejemplo.

Díez entiende que para una persona sin formación arqueológica es muy difícil sacar sentido a determinadas excavaciones como el taller lítico. Algo que le ocurrió al portavoz de la junta de compensación. Cuando contemplo el cementerio se sintió atraído e identificado. En cambio, su experiencia con el taller lítico fue completamente diferente. «Soy incapaz de imaginarme a un señor hace 300.000 años golpeando una piedra con otra».

Encontrar determinadas piezas en una excavación puede ser uno de los elementos determinantes a la hora de convertirlo en un lugar visitable. Junto al taller de herramientas paleolítico, mientras el equipo sigue desenterrando sílex, los arqueólogos fantasean con esa idea. «Si encontráramos un hueso sería diferente», explica el catedrático Javier Baena. «Si saliera algún resto de fauna, sería muy diferente», añade Vega. El hallazgo de restos óseos cambiaría el futuro de la excavación. «Esa es la gran ventaja de Atapuerca», según el responsable de la empresa que investiga los restos, que lo considera una posibilidad poco probable en el taller de herramientas. Los hombres y mujeres que hace más de 200.000 años prepararon allí sus hachas formaban parte de poblaciones nómadas, de grupos muy pequeños y dispersos. Pero no pierde la esperanza: «La arqueología no es una ciencia exacta». Quién sabe, quizá una mañana de investigación, bajo el sol de verano, un pincel moverá la tierra, levantará una pequeña polvareda y no dejará al descubierto un mineral puntiagudo sino los restos del referente al que uno de aquellos vecinos abrió en canal.

Fuente: El País. Pilar Álvarez / Esther Sánchez

25th International Conference on the History of Cartography



30-06-2013 / 05-07-2013

- **Helsinki, Finlandia**
- **Contact:** ichc2013@confedent.fi
- **Website:** www.ichc2013.fi

GI_Forum 2013



02-07-2013 / 05-07-2013

- **Salzburg, Austria**
- **Contact:** office@gi-forum.org
- **Website:** www.gi-forum.org

The 9th European Conference on Precision Agriculture



07-07-2013 / 11-07-2013

- **Lleida, España**
- **Contact:** userconference2013@rieglusa.com
- **Website:** www.ecpa2013.udl.cat/registration_acomodation.html

Esri International User Conference

Esri International User Conference

July 8-12, 2013
San Diego, CA

08-07-2013 / 12-07-2013

- **San Diego, U.S.A**
- **Contact:** <http://www.esri.com/about-esri/contact>
- **Website:** www.esri.com/events

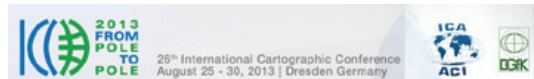
5th International Conference on healthGIS 2013

5th International Conference on healthGIS 2013

22-08-2013 / 23-08-2013

- **Bangkok, Tailandia**
- **Contact:** progeoinfo@gmail.com
- **Website:** <http://healthgis2013.com/>

26th International Cartographic Conference



25-08-2013 / 30-08-2013

- **Dresden, Alemania**
- **Contact:** georg.gartner@tuwien.ac.at
- **Website:** www.icc2013.org/

Society of Cartographers Conference 2013



02-09-2013 / 04-09-2013

- **Stoke-on-Trent, Inglaterra**
- **Contact:** Rosie.Duncan@staffs.ac.uk
- **Website:** <http://www.soc.org.uk/soc2013/>

British Cartographic Society Mapping 2013 Symposium



04-09-2013 / 06-09-2013

- **Leicestershire, Reino Unido**
- **Contact:** <http://www.cartography.org.uk/form.asp?i=1>
- **Website:** <http://www.cartography.org.uk/default.asp?contentID=1063>

Remote Sensing and Photogrammetry Society 2013 Conference



04-09-2013 / 06-09-2013

Glasgow, Escocia

- **Contact:** rspsoc@rspsoc.org
- **Website:** <http://www.rspsoc.org.uk/index.php/rspsoc-2013.html>

UAV-g 2013



04-09-2013 / 06-09-2013

Rostock, Alemania

- **Contact:** info@uav-g.org
- **Website:** www.uav-g.org/

XV International ISM Congress 2013



16-09-2013 / 20-09-2013

Aachen, Alemania

- **Contact:** info@ism-germany-2013.de
- **Website:** http://www.ism-germany-2013.de/index_en.htm

FOSS4G 2013



17-09-2013 / 21-09-2013

Nottingham, Inglaterra

- **Contact:** info@2013.foss4g.org
- **Website:** <http://2013.foss4g.org/>

Digital Technologies in Cartographic Heritage



19-09-2013 / 20-09-2013

Roma, Italia

- **Contact:** http://xeeee.web.auth.gr/ICA-Heritage/2011_2015/Roma2013/Contact.htm
- **Website:** http://xeeee.web.auth.gr/ICA-Heritage/2011_2015/Roma2013/

Geomatics Atlantic 2013



23-09-2013 / 25-09-2013

Saint John, Canada

- **Contact:** <http://geoatlantic.org/contacts/>
- **Website:** <http://geoatlantic.org/>

13th International Scientific and Technical Conference - From imagery to map: digital photogrammetric technologies



23-09-2013 / 26-09-2013

Fontainebleau, Francia

- **Contact:** conference@racurs.ru
- **Website:** <http://www.racurs.ru/France2013/en/>

International UAV Innovation Grand Prix



01-10-2013 / 01-10-2013

Beijing, China

- **Contact:** UAVGP2013@163.com
- **Website:** <http://www.uavgp.com.cn>

1 Envío y aceptación.- Los trabajos para la publicar en la revista MAPPING en su versión papel, tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente y que no hayan sido enviados a otras revistas. Es única responsabilidad del autor, garantizar que la obra enviada es inédita, no habiendo sido publicada anteriormente. Se devolverán a sus autores los que no cumplan con los requisitos descritos en estas normas.

2 Admisión de originales.- Todos los originales recibidos serán examinados como mínimo por dos evaluadores externos en la modalidad de «revisión por pares», cuyas sugerencias se enviarán a los autores con el fin de que realicen las modificaciones pertinentes previa a su publicación. La extensión de los originales no podrá ser superior a 8000 palabras, incluyendo tablas y figuras.

3 Título.- El título de los trabajos deberá ser explícito y preciso, reflejando sin lugar a equívocos su contenido, en español e inglés. A continuación, se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y direcciones de correo electrónico de las personas de contacto.

4 Resumen.- Los artículos deberán ir precedidos de un resumen en español e inglés (150 palabras cada uno como máximo) que incluirá una descripción clara de los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo desarrollado.

5 Palabras clave.- Se incluirán al menos 4 palabras clave en español y en inglés.

6 Redacción del texto y presentación.- La redacción será lo más clara y concisa posible. Los trabajos deberán enviarse en formato electrónico Microsoft Word u Open Office, con las imágenes en su lugar, a la dirección de correo electrónico info@mappinginteractivo.es, y en caso necesario se enviará un CD a la empresa responsable de la gestión y dirección de la revista Mapping:

eGeoMapping S.L.
C/ Jerez de los Caballeros nº2
Centro de Negocios BBCLement
28042 – Madrid
España

Se aceptarán notas a pie de página, siempre que sean las mínimas indispensables. La publicación impresa se realizará en color.

7 Bibliografía.- La bibliografía deberá reducirse a la indispensable que tenga relación directa con el trabajo enviado. Serán citadas entre corchetes, con las 3 primeras letras del primer apellido del primer autor del artículo (o entidad si es una página web), y 2 números indicando el año. Ejemplo: [RU112] hace referencia al artículo de Antonio Ruiz Martínez con fecha 2012. Las referencias citadas se incluirán por orden de citación en el artículo. Cuando la referencia disponga de DOI (Digital Object Identifier) deberá indicarse al final de la misma. En cada cita se consignarán los datos en el formato APA:

Para libros de un autor:

- Jurado, Y. (2002). *Técnicas de investigación documental*. México: Thompson.
- Muñoz, R. (2002). *Estudio práctico de la fusión y escisión de sociedades*. México: ISEF.

Se anota un punto después del paréntesis, el título se escribe en cursiva y, si la obra es en lengua española, las palabras del título se escriben con minúscula, salvo por supuesto la primera palabra y los nombres propios; en el caso de las obras en inglés, los sustantivos, los verbos y los adjetivos se escriben con mayúscula inicial.

Para libros de dos o más autores:

- Kurosawa, J., y Armistead, Q. (1972). *Hairball: An intensive peek behind the surface of an enigma*. Hamilton, Ontario, Canada: McMaster University Press.

Para capítulo en un libro:

- McDonalds, A. (1993). *Practical methods for the apprehension and sustained containment of supernatural entities*. In G. L. Yeager (Ed.), *Paranormal and occult studies: Case studies in application* (pp. 42-64). London, England: OtherWorld Books.

Para Tesis o disertación (de doctorado o de maestría):

- McDonalds, A. (1991). *Practical dissertation title* (Tesis doctoral no publicada). Gainesville, FL.: University of Florida.

Para artículo en un diario impreso:

- Wrong, M. (2005, 17 de agosto). "Never gonna give you up," says mayor. *Toronto Sol*, p. 4.
- Rottweiler, F. T., & Beauchemin, J. L. (1987). Detroit and Narnia: Two foes on the brink of destruction. *Canadian/American Studies Journal*, 54, 66-146.
- Kling, K. C., Hyde, J. S., Showers, C. J., & Buswell, B. N. (1999). Gender differences in self-esteem: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 125, 470-500. doi:10.1037/0033-2909.125.4.470

Para artículo en una sección de un periódico con numeración no continua:

- Crackton, P. (1987). The Loonie: God's long-awaited gift to colourful pocket change? *Canadian Change*, 64(7), 34-37.
- Si se especifica el volumen, irá en cursivas. Si sólo se especifica el número, no es necesario.

Para artículo en una revista semanal:

- Henry, W. A., III. (1990, 9 de abril). Making the grade in today's schools. *Time*, 135, 28-31.

Para artículo en una revista semanal que también tiene sitio web:

- Hoff, K. (2010, 19 de marzo). Fairness in modern society. *Science*, 327, 1467-1468. doi:10.1126/science.1188537

Para hacer referencias electrónicas:

- Para referencias a sitios de Internet, artículos en línea y similares, el estilo APA tiene algunas reglas básicas:
- Incluir la fecha de revisión solo cuando el contenido puede cambiar (por ejemplo en wikis).
- Incluir todos los otros detalles relevantes para la búsqueda.

8 Tablas, figuras y fotografías.- Se enviarán solo tablas y figuras que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto. Cada figura tendrá su pie explicativo, indicándose el lugar aproximado de colocación. Las tablas y figuras se mandarán en ficheros aparte a ser posible en formato comprimido. Las fotografías deben enviarse en formato JPEG o TIFF, las gráficas en EPS o PDF y las tablas en word, excel u open office. Las fotografías y figuras deben ser diseñadas con una resolución mínima de 300 píxeles por pulgada (ppp).

9 Fórmulas y expresiones matemáticas.- Debe perseguirse la máxima claridad de escritura, procurando emplear las formas más reducidas o que ocupen menos espacio. En el texto se numerarán entre corchetes.

10 Sobre los autores: se deberá incluir una breve referencia profesional sobre los autores al final del artículo.

11 Pruebas.- Se enviarán a los autores las pruebas de imprenta en formato electrónico y deberán revisarlas en un plazo máximo de una semana. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

12 Publicación «en-línea».- Los trabajos pueden publicarse «en-línea» posteriormente a la publicación impresa en formato papel, en la página web de Mapping (www.mappinginteractivo.com). Esta publicación «en-línea» podrá tener su versión en inglés suministrada por el propio autor, sometida a correcciones por el departamento de traducciones de la revista Mapping.

13 Entrega de ejemplares.- De cada trabajo publicado, se entregará a todos los autores un archivo en formato PDF, revista completa en formato electrónico mediante enlace descargable y 3 ejemplares en formato papel.

14 Normativa y jurisprudencia.- El artículo después de ser publicado en la revista Mapping seguirá siendo de Propiedad Intelectual de su autor.

15 Otras consideraciones.- Se evitará siempre que sea posible toda información que pueda parecer publicidad o propaganda injustificada de cualquier marca comercial o solución tecnológica concreta.

Las únicas menciones a marcas, soluciones, empresas y nombres comerciales se harán siempre por motivos estrictamente científico-técnicos y con la máxima objetividad y neutralidad.

Se evitará también toda información que pueda ser considerada opiniones subjetivas no fundamentadas y razonadas. Todo lo publicado debe ser información objetiva y demostrable, apoyada en evidencias o bien, opiniones argumentadas y justificadas, nunca gratuitas.

Leica Nova MS50

Tome la decisión correcta

Nova



Leica Nova MS50 – La primera MultiStation del mundo

Solo le llevará un momento tomar la decisión correcta. Porque el rendimiento final y la fiabilidad absoluta son fundamentales. Nuestra nueva Leica Nova MS50 MultiStation combina tecnología de estación total, de imágenes y de análisis para crear una solución única que cubre todo el flujo de trabajo desde la captura y visualización hasta la toma de decisiones, actuación y entrega del producto final.

Leica Nova: una nueva dimensión en la tecnología de medición

www.leica-geosystems.com/nova

Leica Geosystems S.L.
Barcelona, Bilbao, Madrid, Sevilla y Valencia

www.leica-geosystems.es

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

MINISTERIO DE FOMENTO
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

cartografía digital

www.ign.es

INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Oficina central y comercialización:
General Ibáñez de Ibero, 3 • 28003 MADRID
Teléfono: +34 91 597 94 53 • Fax: +34 91 553 29 13
e-mail: consulta@cniq.es

CENTRO DE DESCARGAS DE DATOS

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA (BCN 1000, 50, 200, 25),

MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN50,25),

MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT1000, 200, 25),

LÍNEAS LÍMITE, BASE DE DATOS DE POBLACIÓN, MAPA DE USOS DEL SUELO,
ATLAS NACIONAL DE ESPAÑA, CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.